



Original document

SURFACE-EMITTING LASER, OPTICAL MODULE USING THE SAME, AND OPTICAL SYSTEM

Patent number: JP2002185079
Publication date: 2002-06-28
Inventor: KITATANI TAKESHI; KONDO MASAHIKO;
TANAKA TOSHIAKI
Applicant: HITACHI LTD
Classification:
- international: H01S5/183
- european:
Application number: JP20000381433 20001215
Priority number(s):

Also published as:

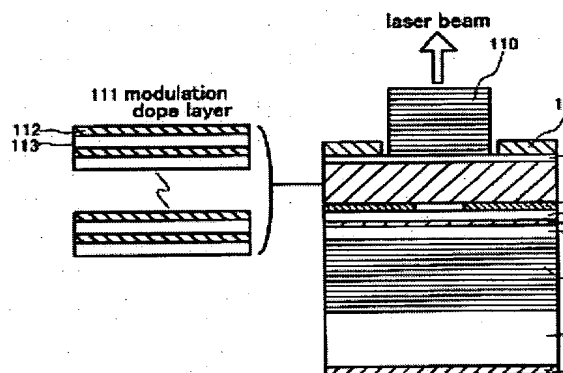
 US6697405 (B)
 US2002075921

[View INPADOC patent family](#)

Abstract of JP2002185079

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface-emitting semiconductor laser which can operate at a high speed of ≥ 10 Gb/s and an optical module.

SOLUTION: The surface-emitting semiconductor laser has at least an active layer area 105 which generates light, a current constricting area 107 which is arranged on one side of the area 105 opposite to a semiconductor substrate 102, an optical resonator which is constituted by sandwiching the active layer area 105 and current constricting areas 107 with reflecting mirrors from the top and bottom sides in the direction of lamination of semiconductor layers, a first electrode provided on the substrate 102 side of the current constricting area, and a second electrode provided on the side opposite to the substrate 102 on the semiconductor substrate 102. The laser also has a semiconductor layer area having a laminated structure, which can generate two-dimensional carriers between the current constricting area 107 and the second electrode.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Description of correspondent: US2002075921

BACKGROUND OF THE INVENTION

[0001] 1. Field of the Invention

[0002] This invention concerns a surface emitting laser device having a vertical cavity, and an optical module and an optical system using the same.

[0003] 2. Statement of the Related Art

[0004] Along with explosive increase of internet users in recent years, high speed information transmission has been demanded urgently in local area networks (LAN) such as in offices. It is expected that transmission rate at Gb/s level for end users and in excess of 10 Gb/s level for backbones connecting between each of HUBs will be required in these 5 to 10 years. Therefore, it is considered that entire introduction of optical communications using optical fibers as far as end users is necessary in the near future. Usually, for optical communication, semiconductor lasers, photo-detectors and optical modules incorporating driving circuits therefor are used. In optical modules to be used in the future LAN, it is indispensable to provide them at a reduced cost considering that they are used by a great number of users in addition to the foregoing requirement in view of the performance that high speed transmission in excess of 10 Gb/s is possible.

[0005] FIG. 1 shows a schematic view for a high speed optical module in excess of 10 Gb/s known in the prior art.

[0006] There are shown a semiconductor laser device 401, a laser driving circuit 402, an external modulator 403, a TEC (Thermo Electric Cooler) for stabilizing the temperature for the device 404, a photodetector 405, a photodetector driving circuit 406, an entire optical module package 407, an external circuit 408 for operating an optical module, and an optical fiber 409. The optical module generates a beam from the semiconductor laser device 401 in accordance with the external circuit 408. The high speed modulated light in excess of 10 Gb/s is transmitted through the external modulator 403. Further, optical signals transmitted from a mating optical module is received by the photodetector 405. All the optical signals are transmitted and received through the optical fiber 409. As the semiconductor laser device 401, a surface emitting laser using gallium indium phospho arsenide (GaInPAs) series semiconductor material as the active layer is mainly used. The laser beam wavelength is at 1.3 μm or 1.55 μm applicable to a single mode fiber capable of long distance and high speed transmission.

[0007] Generally, the GaInPAs series laser has a drawback that a threshold current increases remarkably when a device temperature increases. Accordingly, it has been necessary to incorporate the temperature stabilizing thermoelectric cooler. As described above, the number of parts constituting the optical module is large and, therefore, the size of the module is large and the cost of the optical module itself is expensive. This has a close concern with that the existent level of transmission rate of 10 Gb/s has been mainly used in trunk transmission networks in which more importance is attached to performance than the cost. In view of the above, existent 10 Gb/s optical module is not essentially suitable for the application to future LANs which require cost reduction. The dotted lines in the drawing denote partitioning between the light transmission side in which a semiconductor laser device is disposed and a light receiving side in which a photodetector is disposed, and each of the portions may sometimes be constituted as optical transmission module and the optical receiving module independently. Further, in the drawing, the photodetector feedback optical output monitor of semiconductor laser device is omitted.

[0008] On the contrary, a surface emitting laser has attracted attention as a light source suitable to high speed optical module used for future LANs. The surface emitting laser has a cavity length of as small as several μm which is much shorter compared with the cavity length (several hundreds μm) of an edge emitting laser and is basically excellent in high speed characteristics. Further, it also has excellent features in that (1) the beam shape is nearly circular which is easily coupled with an optical fiber (2) cleaving step is not necessary in the production step and device check is possible on the wafer unit as it conducts laser oscillation at a low threshold current and consumes less electric power to reduce the heat. Further, also as for the lasing wavelength, lasing operation at 1.3 μm range by using new semiconductor materials which can be formed on a gallium arsenide (GaAs) substrate such as of gallium indium nitrogen arsenide (GaInNAs) or gallium arsenic antimonate (GaAsSb) have been reported successively in recent years.

[0009] For the semiconductor laser devices, it has been expected more and more for practical surface emitting laser in a long wavelength range adaptable to a single mode fiber capable of long distance and high speed transmission. Particularly, it is expected that when GaInNAs is used for the active layer, electrons can be confined in a deep potential well in the conduction band and the stability of the temperature characteristics can also be improved drastically. It has been expected for the long wavelength surface emitting laser device using GaInNAs as the active layer that it can provide an optical module

high performance, at a reduced cost and suitable to use in LANs based on the foregoing advantages. [0010] The surface emitting laser basically comprises an active layer for generating light, a current confinement layer for injecting current to a minute region of the active layer and an optical cavity comprising a pair of reflectors disposed so as to vertically put the active layer therebetween. Usually semiconductor Distributed Bragg Reflector (DBR) is used for the reflector and the current is injected by way of a semiconductor DBR layer into the active layer.

[0011] On the other hand, since the semiconductor distributed Bragg reflector (DBR) has high resistance, surface emitting laser of a different structure in which current is injected not by way of the reflector has also been studied. An example is a surface emitting laser as described in Japanese Patent Laid-Open 11-204875 (laid-open on Jul. 30, 1999). FIG. 2 shows a device structural view in which are shown an electrode 501, a semiconductor substrate 502, a lower DBR 503, a first spacer layer 504, an active layer 505, a second spacer layer 506, a current confinement layer 507, a current induced layer 508, a third spacer layer 509, an upper electrode 510 and an upper DBR 511. Since the upper electrode 510 is disposed on the side of the upper DBR 511, the induced current from above is introduced from the third spacer layer 509 through the current induced layer 508 to the aperture restricted by the current confinement layer 507 then introduced into the active layer 505. That is, since the current is induced not by way of the upper DBR 511, the device resistance can be reduced. Further, in this structure, the current induced layer 508 with increased doping concentration is adopted intending to reduce the resistance to the horizontal direction relative to the substrate between the electrode and the aperture (hereinafter referred to as a resistance in the lateral direction).

OBJECT AND THE SUMMARY OF THE INVENTION

[0012] This invention intends to provide a surface emitting semiconductor laser device capable of high speed operation. High speed operation, for example, above 10 Gb/s is attained in accordance with the invention.

[0013] This invention further intends to provide a surface emitting semiconductor laser device capable of high speed operation and reduced in the cost.

[0014] This invention further provides an optical module mounting the surface emitting semiconductor laser device capable of higher speed operation.

[0015] For coping with such technical subjects, it is necessary to overcome the foregoing problems in a surface emitting laser. At first, a surface emitting laser device structure capable of injecting current to an active region not by way of an upper DBR of high resistance should be adopted. For this purpose, it is necessary to provide a new method capable of reducing the resistance in the lateral direction of the current passing from the electrode through the aperture and injected into the active region and attain a drastic reduction of the device resistance to about 10 [Ω].

[0016] A typical embodiment of this invention resides in a surface emitting laser device at least comprising, on a semiconductor substrate, an active region for generating light, a current confinement region disposed on the side opposite to the semiconductor substrate while putting the active region therebetween, an optical cavity comprising reflectors putting the active region and current confinement region vertically therebetween in the layering direction of the semiconductor layer, a first electrode disposed on the side of the semiconductor substrate and a second electrode disposed on the side opposite to the semiconductor substrate while putting the current confinement region therebetween, and having a semiconductor region having a layered structure capable of forming 2-dimensional carriers between the current confinement region and the second electrode.

[0017] The semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers is preferably adapted for the purpose of this invention, particularly, so-called a modulation-doped structure. That is, the second embodiment of this invention is a surface emitting laser device having, on a semiconductor substrate, an active region for generating light, a current confinement region disposed on the side opposite to the semiconductor substrate relative to the active region, an optical cavity comprising reflectors putting the active region and the current confinement region vertically therebetween in the direction of layering the semiconductor layer, a first electrode disposed on the side of the semiconductor substrate relative to the current confinement region and a second electrode disposed on the side opposite to the semiconductor layer relative to the current confinement region, and having a layered semiconductor structure capable of forming 2-dimensional carriers between the current confinement region and the second electrode and the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers.

carriers has at least a first semiconductor layer containing impurities at high concentration and having wide band gap and a second semiconductor layer containing impurities at a concentration lower than of the first semiconductor layer or substantially not containing impurities and having a band gap narrower than that of the first semiconductor layer.

[0018] The semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers provide the effect thereof so long as it is present in at least a portion between the current confinement region and the second electrode. In the example to be described later, the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers is formed substantially over the entire surface of the substrate surface. More actual embodiment in the practical production is explained but it is important that the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers is present in a current path between the current confinement region and the second electrode. In the other point of view, a region having a layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers constitutes a main portion of the current channel. Accordingly, it is not always necessary to form a layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers entirely for the surface in parallel with the substrate surface. Further, other semiconductor layer may be further disposed between the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers and the current confinement region. Also in this case, the effect of disposing the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers can also be obtained.

[0019] As described above, in the basic constitution of this invention in which a current flowing from the electrode disposed on the side opposite to the substrate relative to the current confinement region has a horizontal component relative to the substrate, the current component in the horizontal direction is conducted mainly by way of the 2-dimensional carrier gas channel. Specifically, it is attained by a surface emitting laser device wherein the 2-dimensional carrier gas channel is formed of a modulation dope structure in which at least one kind of high concentration dope layer comprising a semiconductor of wide band gap and at least one low concentration dope layer comprising a semiconductor with a narrower band gap than that (the low concentration dope layer may also include the case of not applying doping) are located in at least a portion between the electrode and the current confinement region.

[0020] For attaining the main purpose of this invention as described above, reduction of the resistance of the surface emitting laser device due to p-type conduction is intended and a 2-dimensional hole gas is used as the carriers is used.

PREFERRED EMBODIMENT OF THE INVENTION

[0021] The basic constitution of this invention is as has been described above and main preferred embodiments of this invention will be set forth below.

[0022] A first embodiment according to this invention is a surface emitting laser device having, on a semiconductor substrate, an active region generating light, a current confinement region disposed on the side opposite to the substrate relative to the active region and an optical cavity comprising reflectors putting the active region and the current confinement region vertically therebetween, in which the current flowing from the electrode disposed on the side opposite to the semiconductor substrate relative to the current confinement region has a horizontal component relative to the surface of the substrate and the current component in the horizontal direction flows mainly by way of the channel for 2-dimensional gas.

[0023] The second embodiment of this invention is a surface emitting laser device as defined in the first embodiment, wherein the 2-dimensional carrier gas channel is formed of a modulation dope structure in which at least one kind of high concentration dope layer comprising a semiconductor of wide band gap and at least one kind of low concentration dope layer comprising a semiconductor with a narrow band gap (also including a case of not applying doping) are located in at least a portion of the electrode and the current confinement region.

[0024] A third embodiment of this invention is a light emitting laser device as defined in the second embodiment wherein absorption of the laser wavelength beam by the modulation dope structure is less than 1%, and the modulation dope structure is disposed including the inside of the cavity through which the beam travels. Even when the modulation dope structure is incorporated in the optical cavity, it can be driven sufficiently in the same manner as usual surface emitting laser device so long as the absorption of the laser beam in the structure is less than 1%. Such a problem of laser beam absorption can naturally be avoided by disposing the modulation dope structure to the outside of the optical cavity as exemplified below.

[0025] A fourth embodiment according to this invention is a surface emitting laser device as defined Embodiment 2, wherein the modulation dope structure is disposed to the outside of a light propagating cavity.

[0026] A fifth embodiment according to this invention is a surface emitting laser device as defined in one of Embodiment 1 to 4, wherein the high concentration dope layer in the modulation dope structure is a p-type and 2-dimensional carrier gas is comprises holes.

[0027] A sixth embodiment according to this invention is a surface emitting laser device as defined in one of Preferred Embodiments 2 to 5, wherein AlGaAs, AlGaInP or layered structure thereof is used for the high concentration dope layer, and GaAs, GaInAs or layered structure thereof is used for the low concentration dope layer. The group III-V compound semiconductor materials set forth here are most extremely suitable to the practice of this invention. Such materials can easily form high quality layer on GaAs substrate capable of easily providing excellent characteristic with a view point of the surface emitting laser device.

[0028] Prior to explanation for more preferred embodiments, details for basic concept of this invention will be additionally explained.

[0029] Prior to the description for concrete embodiments, details for the basic concept of this invention will be additionally explained.

[0030] For attaining an optical module having a high speed operation characteristic in excess of 10 Gb/s, it is naturally necessary to attain high speed characteristic in excess of 10 Gb/s in a surface emitting laser device used as a light source. For this purpose, it is indispensable to reduce the resistance (R) and the capacitance (C) of the surface emitting laser device.

[0031] Generally, the basic modulation characteristic of a semiconductor laser device is evaluated by the modulation frequency at which the optical output of the device is lowered by 3 dB (hereinafter simply referred to as f_{3 dB}). Then, f_{3 dB} is represented by using R and C in accordance with the following equation (1)

$$[0031"] f_{3\text{ dB}} = 1 / (2\pi RC) \quad (1)$$

[0032] The fact described above is explained, for example, in Advanced Optoelectronic Series "Four Basic Principles and Application of Surface Emitting Laser", page 184, written by Kenichi Iga and Fumio Koyama, published from Kyoritsu Shuppan.

[0033] From the equation (1) above, it is understood that the device resistance should be reduced to about 10 [Ω] in order to attain several 10 Gb/s for f_{3 dB} of the device. In this case, the capacitance of the surface emitting laser device is assumed to 500 fF as a general value. If the device capacitance can be reduced, the allowable amount for the device resistance can be increased, for example, 10 [Ω] or more but it would be appreciated that reduction of the resistance is important also in this case. Further, device resistance of about 10 [Ω] is a low value comparable with that of the edge emitting laser and, if it can be attained, laser driving circuits and the like used so far in the edge emitting laser are applicable. In this case, new development cost is not required, which is advantageous in the reduction of the cost for the optical module using the surface emitting laser device according to this invention.

[0034] <Comparative Discussion with Prior Art>

[0035] As has been described previously, a reflector comprising AlAs/GaAs series semiconductor multilayered film (DBR) has been used mainly in the surface emitting lasers. In the existent device, an electrode is disposed on the DBR comprising a p-type AlAs/GaAs and current is injected through the DBR into the active layer. In this instance, there is a problem that the energy difference at the hetero interface of a AlAs/GaAs series semiconductor provides a large resistive ingredient for holes of heavy effective mass to increase the device resistance. As a countermeasure, it has been attempted, for example, to introduce an AlGaAs semiconductor layer of gradually changed content to the AlAs/GaAs hetero interface, apply doping only on the AlAs side thereby decreasing the resistive ingredient at the hetero interface. However, since the resistance of the p-type AlAs/GaAs series semiconductor DBR is essentially high, it is difficult to attain drastic reduction of the device resistance.

[0036] On the other hand, the surface emitting laser described in Japanese Patent Laid-Open Hei 11-204875 (laid-open on Jul. 30, 1999) described previously is to be studied. This example has a structure for injecting current not by way of an upper p-type semiconductor DBR of high resistance.

[0037] The resistance to the lateral direction is in proportion with the sheet resistance (R_c). R_c is represented by the following equation (2).

$$[0037"] R_c = 1 / (N_{se} \mu) \quad (2)$$

[0038] wherein N_s represents a sheet-carrier concentration, e represents an elementary electric charge, μ represents a layer mobility and t represents the thickness of the layer. N_s is represented as a product of carrier concentration (p) and the mobility (μ) of the layer ($N_s = p\mu$).

DESCRIPTION OF ACCOMPANYING DRAWINGS

[0039] FIG. 1 is a schematic explanatory view illustrating an example of an existent optical system;
 [0040] FIG. 2 is a cross sectional view illustrating an existent example of a surface emitting laser device;
 [0041] FIG. 3 is a cross sectional view illustrating an example of a surface emitting laser device according to this invention;
 [0042] FIG. 4 is an upper plan view illustrating an example of a surface emitting laser device according to this invention;
 [0043] FIG. 5 is a cross sectional view illustrating another embodiment of a modulation dope layer;
 [0044] FIG. 6 is a graph illustrating a thickness of a modulation dope layer according to this invention and a resistance value in the lateral direction;
 [0045] FIG. 7 is a graph illustrating a relation between a film thickness of a modulation dope layer and a reflectivity in a reflector according to this invention;
 [0046] FIG. 8 is a perspective view illustrating an example of an optical module;
 [0047] FIG. 9 is a schematic perspective view illustrating an example of an optical system;
 [0048] FIG. 10 is a cross sectional view illustrating an example of a manufacturing step for a surface emitting laser device according to this invention; and
 [0049] FIG. 11 is a cross sectional view illustrating another example of a surface emitting laser device according to this invention.

[0050] In the existent device shown in FIG. 2 described above, a usual semiconductor film is used for the current induced layer 508. In the semiconductor film, there exists a trade off relation that when carrier concentration p (that is, sheet-carrier concentration N_s) increases, scattering factor depending on the doping material or the like increases and μ is lowered. Accordingly, the existent structure shown in FIG. 2 can not attain remarkable reduction of the device resistance unless high concentration doping $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ or higher is applied. Furthermore, for burying the current confinement layer 507 and the current-induced layer 508 in the device, regrowth process is required additionally. When the third spacer layer 509 is regrown, if the step at the aperture after removing the current confinement layer 507 and the current induced layer 508 is large, undesired effects are provided in that the facet is formed at the step and extends to the aperture of only several μm diameter. According to the estimation, 300 nm or more of the step in the thickness is caused upon attaining the device resistance of about 10 Ω structure. Accordingly, with a view point of crystal growth as described previously, it is considered difficult to attain the aimed device resistance value.

[0051] <Typical Embodiments of this Invention>

[0052] Embodiments of this invention free from the difficulties in the examples described above are explained more in details. FIG. 3 shows a cross sectional view of a device structure according to this invention. In this case, a so-called modulation dope layer 111 is specifically shown being enlarged on the left of the drawing. FIG. 4 is an upper plan view thereof.

[0053] In FIG. 3, are shown a lower electrode 101, a semiconductor substrate 102, a lower DBR 103, a first spacer layer 104, an active region 105, a second spacer layer 106, a current confinement layer 107, a third spacer layer 108, an upper electrode 109, an upper DBR 110, a modulation dope layer 111, a high concentration dope layer 112, and a low concentration dope layer 113. The layer 113 is not applied with doping depending on the case and reference numeral 113 also may include such a layer. A method of forming the current confinement layer 107 may be in accordance with the usual method. An example will be described later.

[0054] For the modulation dope layer, a constitution adopted in the relevant field of the art may be used. Concrete specifications for the layer is selected, for example, by required specifications to the semiconductor materials and the laser characteristics, and typical examples thereof are as shown below. For example, in the surface emitting laser device using GaAs as the substrate, a typical example of the high concentration dope layer is, for example, AlGaAs, AlGaInP or a combination thereof. For the high concentration dope layer, a thickness of 50 nm or less, preferably, 10 nm or less is suitable.

less and the doping amount, for example, of $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ or more are often used. On the other for the low concentration dope layer, typical example is, for example, GaAs, GaInAs or a combined structure thereof. For the low concentration dope layer, a thickness of 100 nm or less and a doping amount for example $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ or less are often used.

[0055] In the modulation dope layer 111, carriers supplied from the high concentration dope layer 112 flow through the channel for 2-dimensional carriers of high mobility formed at the interface between high concentration dope layer 112 and the low concentration dope layer 113, on the side of the low concentration dope layer. Accordingly, the carrier concentration p can be increased by increasing the doping amount in the high concentration dope layer in which the mobility $[\mu]$ is scarcely lowered. Accordingly, the values for respective carrier concentration p and the mobility $[\mu]$ can be set to high values independently of each other. Therefore, as can be seen from the equation (2) above, R_c can be reduced remarkably.

[0056] In the existent device shown in FIG. 2, when the thickness of the current induced layer is doubled only the twice resistance reducing effect can be obtained simply. However, in this invention, since channels for the two dimensional carriers are formed by the number of three to the hetero interface and the modulation dope structure is repeated for two periods, an effect of more than simply doubling the can be obtained. For the repetitive number of periods for the modulation dope structure (s), the number of channel formed is $(2s-1)$ and the obtained effect is greater as the number of repetitive periods of the modulation dope structure increases. Based on the effect described above, the resistance to the lateral direction of the emitting laser device can be reduced remarkably by using the structure according to this invention. The repetitive period(s) for the modulation dope structure is determined depending on the doping concentration and considering the extent of lowering of the reflectivity of DBR.

[0057] In the device structure according to this invention, current injected from the upper electrode 106 is passed through the aperture formed in the current confinement layer 107 and is injected to the active region. The current in this case has a component in the horizontal direction relative to the substrate surface. In this case, the current component in the horizontal direction flows by way of the 2-dimensional carrier channel at low resistance formed by the modulation dope layer. For injecting the carriers reaching at the aperture to inject into active region, it is somewhat necessary that the carriers are conducted in the vertical direction relative to the substrate surface. However, in this invention, since the thickness of the high density doping layer with wide band gap as the barrier to the carriers is as thin as 50 nm or less, since an electric field due to the voltage difference is applied between the upper and the lower electrodes, there is scarce possibility that particularly large resistance component is added.

[0058] FIG. 6 shows an example of a resistance in the lateral direction of a device attainable in accordance with this invention. It may be considered that the resistance of this device structure is mainly dominated by the resistance to the lateral direction. In FIG. 6, the thickness of the modulation dope layer is expressed by the abscissa, while the resistance value in the lateral direction of the layer is indicated on the ordinate. The structure of the modulation dope layer comprises p-type aluminum gallium arsenide (AlGaAs, 5 nm thickness) as the high concentration dope layer and a non-doped GaAs (film thickness 25 nm) as the low concentration dope layer. Accordingly, the thickness of the minimum unit structure forming one channel is 30 nm. This is an example of calculation for the two types of $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ as the p-type doping concentration of the high concentration dope layer. In this case, it is estimated that sheet carrier concentration of holes are $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ and $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, respectively, and hole mobility in the 2-dimensional channel is $500 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$. It can be seen from FIG. 6 that resistance in the lateral direction of 10 $[\Omega]$ or less can be attained in a case of the carrier concentration at $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ of the high concentration dope layer if the thickness of the modulation dope layer is about 300 nm or more. On the other hand, when the carrier concentration of the high concentration dope layer is $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, a further reduction of the resistance is possible and a resistance in the lateral direction of 10 $[\Omega]$ or lower can be attained at a thickness of about 50 nm.

[0059] Then, additional description will be made to the constitution of the reflector and the current confinement layer. Also in this invention, customary techniques used so far may be used for them.

[0060] As has been described above, the length of the optical cavity of the light emitting laser is remarkably short, and it is necessary to extremely increase the reflectivity of upper and lower reflectors in order to reduce the threshold current value upon lasing operation. For obtaining a threshold current value served for practical use, it is necessary to provide a reflectivity of about 99.5% or more.

[0061] As the reflector, a DBR formed by alternately stacking two kinds of semiconductors of different refractive indices is used.

refractive indexes at $[\lambda/4]$ wave length thickness ($[\lambda/4n]$: $[\lambda]$ represents wavelength and n representing refractive index of the semiconductor material) has mainly be used. For the two kinds of semiconductor materials used for the DBR, it is desirable that the difference of the refractive index between both of them is as large as possible so as to obtain a high reflectivity with a small number of stacking periods. Further, when the material comprises semiconductor crystals, it is preferably lattice matched with the substrate material for suppressing missfit dislocations. At present, DBRs constitute GaAs/aluminum arsenic (AlAs) series semiconductor material or dielectric material such as silicon dioxide (SiO₂)/titanium dioxide (TiO₂) is used mainly. Further, the current confinement layer is essential for reducing the threshold current of the device and forming a single mode, which is located at an optional position between the active layer and the current injecting electrode and serves to restrict the current injected to the active layer to a minute region of several $[\mu\text{m}]$ to several tens $[\mu\text{m}]$ (hereinafter referred to as aperture). Specifically, a method of selectively oxidizing AlAs layer introduced into the device structure from the lateral direction and converting it into an aluminum oxide (Al_xO_y) dielectric layer thereby confining the current only within the minute AlAs region left at a central portion and a method of confining the current by burying a semiconductor material with a large band gap or a material doped with a conduction type opposite to the conduction type in the device into the device are predominant at present. [0062] Then, considering that the lasering wavelength of the laser beam is a 1.3 $[\mu\text{m}]$, absorption coefficient at wavelength of 1.3 $[\mu\text{m}]$ by the modulation doped layer was examined. FIG. 7 shows an example of the change of the thickness of the modulation doped layer and the change thereby of the reflectivity of the reflector therefor. The structure of the modulation doped layer is identical with that of the example in FIG. 6. the abscissa represents the thickness of the modulation doped layer and the ordinate represents the reflectivity of the DBR reflection film. Absorption of light at a wavelength of 1.3 $[\mu\text{m}]$ mainly occurs in the p-type high concentration doped layer. This is calculated for the cases of the p-type doped concentration at 10^{19} cm^{-3} and $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ respectively. Values for the absorption coefficient under each of the conditions are 100 cm^{-1} , 500 cm^{-1} and 1000 cm^{-1} respectively. As has been described previously, a reflectivity of 99.5% or higher is necessary for ensuring high performance laser characteristic in the surface emitting laser.

[0063] As can be seen FIG. 7 that the critical thickness is about 600 nm for the p-type doping concentration $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and about 150 nm for the p-type concentration 600 nm , for ensuring high reflectivity.

[0064] Accordingly, considering the results of FIG. 6 and FIG. 7 together, it has been found that the problem in this invention even when the modulation doped layer is disposed in the cavity upon attaining a device resistance of about $10 [\Omega]$ in view of the absorption of the laser beam.

[0065] Thus, the growth process which was indispensable in the existent structure, for example, shown in FIG. 2 is no more necessary in the structure of this invention and the entire device structure can be obtained by the crystal growth for once. Accordingly, by the use of the structure according to this invention, since the yield is high upon manufacture of the device, a remarkable reduction of the cost can be attained.

[0066] On the other hand, if it is intended to completely avoid absorption of light by the high concentration doped layer, the modulation doped structure may be disposed out of the cavity. While the regrowth process is necessary in this case, the step of the film thickness step formed at the aperture can be decreased than in the existent method shown in FIG. 2 and problems due to regrowth less occurs.

[0067] For further obtaining a greater effect in this invention, it is effective to increase the sheet carrier concentration N_s . For this purpose, it is effective to insert a semiconductor material, for example, gallium indium arsenide (GaInAs) of narrow band gap as a low concentration doped layer to the AlGaAs/GaAs interface constituting the modulation doped structure. That is, it is effective to make the modulation doped structure as a plural semiconductor layered structure. This can increase the channel width (thickness) of the carrier layer to increase the sheet concentration N_s . FIG. 5 shows an example of a cross sectional view of a modified modulation doped layer, in which are shown a high concentration doped layer 112, a low concentration doped layer 113 and a low concentration doped layer 114 of narrow band gap.

[0068] Considering the foregoing, this invention is applicable also to a surface emitting laser structure having a wavelength of 1 $[\mu\text{m}]$ or less. In this case, for suppressing the absorption of the laser wavelength beam, it is necessary to select the semiconductor material constituting the modulation doped structure from the material having a larger band gap than the photon energy at the laser wavelength beam. For example, AlGaAs or AlGaInP of high Al content is suitable.

[0069] FIG. 8 shows a perspective view of an optical module. FIG. 9 shows a constitutional view of optical system using a surface emitting laser according to this invention. In FIG. 8 and FIG. 9, a surface emitting laser device 301 according to this invention, a laser driving circuit 302, a photodetector 303, a photodetector driving circuit 304, an entire optical module package 305, an external circuit 306 for operating the optical module, and an optical fiber 307 are shown. The surface emitting laser device 301 and the photodetector 303 are held on a frame 309. Each of the driving circuit and the like in the optical module package is connected at 308 to an external circuit. Arrows 310 and 311 represent emission and incidence of light respectively.

[0070] The surface emitting laser according to this invention generates less heat and fluctuates less in temperature of the device itself since the device resistance is low. In addition, change of the threshold current value during use is extremely decreased also in cooperation with the reduction of the threshold current value of the surface emitting laser itself. This can eliminate the use of a thermoelectric cooler required in the existent high speed optical module. Further, the device can be driven by a small and simple circuit. Further, since the surface emitting laser device is directly driven under modulation, use of an external modulator is not required as well. From the foregoing, the number of parts can be decreased remarkably and the size of the driving circuit can be reduced. Accordingly, the size of the optical module itself can be reduced and remarkable cost down can be obtained together. Further, high yield upon manufacture of the device is also effective to the reduction of the cost.

[0071] Further, since the optical module according to this invention less deteriorates the active layer because of low resistance of the surface emitting laser and less heat generation of the device itself, its characteristic can be provided over a longer period of time compared with existent optical modules.

[0072] The effects described above become more conspicuous as described above in the surface emitting laser using an active layer material, for example, GaInNAs of excellent temperature characteristic capable of confining electrons by a deep potential well in the active layer.

[0073] In the drawing, for optical system in FIG. 9, dotted lines denote partitioning between the light transmission side in which the semiconductor laser is disposed and the light reception side in which the photodetector is disposed but respective portions may sometimes be constituted independently as a light transmission module and a light reception module. Further, in the drawing, the photodetector for use as a light output monitor of a surface emitting laser device is saved.

[0074] <Embodiment 1 of the Invention>

[0075] As a Preferred Embodiment 1, manufacture of a surface emitting laser structure not requiring a regrowth process according to this invention is to be described specifically. The cross sectional view and the upper plan view of the device structure are as shown in FIG. 3 and FIG. 4, respectively. FIG. 10 shows a cross sectional view of a device illustrated in the order of manufacturing steps.

[0076] For the manufacture of the surface emitting laser structure, in view of requirement for precise thickness control or the fabrication of an abrupt hetero interface, a molecular beam epitaxy (MBE) method, a metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) method, or chemical beam epitaxy (CBE) method capable of instantaneously switching the materials is suitable. Further, in a case of using GaInNAs for the active layer, a growing method in an inequivalent state is advantageous for the introduction of nitrogen (N), and the MBE method, MOCVD method or CBE method described above is suitable as the growing method also in this regard. It will be apparent that the growing method described above is not limited to the manufacture of the surface emitting laser device according to this invention. In this embodiment, the solid source MBE (SS-MBE; Solid State-Molecular Beam Epitaxy) method was adopted for the growing method. In the SS-MBE method, gallium (Ga) and indium (In) were used as a source for the III group element and metal As was used for arsenic (As) as the source for group V element. Further, silicon (Si) was used as n-type impurity and carbon tetrabromide (CBr₄) was used as the impurity material capable of high concentration p-type doping. Providing that the identical doping concentration can be attained, beryllium (Be) or zinc (Zn) may also be used as the p-type impurity. As for the nitrogen (N), nitrogen source radicals formed by RF (Radio Frequency) plasma excitation of N₂ gas was used. Excitation of nitrogen plasmas can also be conducted by using ECR (Electron Cyclotron Resonance) plasmas.

[0077] Referring to FIG. 10(a), an n-type GaAs (100) substrate 102 (n-type doping concentration = $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) was used for the semiconductor substrate. After elevating the temperature of the substrate in an As atmosphere, a lower semiconductor DBR 103 is layered by 30 periods using n-type AlAs/GaAs (AlAs/GaAs means multilayer of an AlAs layer and a GaAs layer; impurity concentration = $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$). Hereinafter, such indication means similar multilayer. Each film thickness is defined as $[1/4]$

wavelength thickness in the semiconductor. Subsequently, there were formed a first spacer layer 104 comprising non-doped GaAs layer at $[1/2]$ wavelength thickness, an active layer 105 comprising a si layered film of non-doped $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{N}_{0.01}\text{As}_{0.99}$ of 10 nm, a second spacer layer 106 comprising doped GaAs layer at $[1/2]$ wavelength thickness and a non-doped AlAs upper current confinement layer 107 at $[1/4]$ wavelength thickness in this order.

[0078] Successively, a modulation doped layer 111 comprising AlGaAs/GaAs that particularly form characteristic structure of this invention was layered. In the modulation doped layer 111, a non-doped layer of 25 nm thickness was used as the low concentration dope layer 113, and a p-type AlGaAs layer of 25 nm thickness was used as a high concentration dope layer 112 (p-type doping concentration = $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$). The Al content in the AlGaAs layer was 30%. This forms a channel of 2-dimensional hole at the AlGaAs/GaAs interface. This modulation dope structure was layered repeatedly for several times. Successively, a third spacer layer 108 comprising p-type GaAs (p-type doping concentration = $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) is formed. The thickness of the third spacer layer 108 was controlled such that the total thickness including the modulation dope structure is an integer multiple of $[1/2]$ wavelength thickness. Finally, an upper DBR 110 with non-doped AlGaAs/GaAs was layered for 25 periods to complete the crystal growth process. The Al content in the AlGaAs layer of the upper DBR was set to 10%. Further, the film thickness was adjusted to $[1/4]$ wavelength in the semiconductor.

[0079] Successively, a processing step for manufacture the device structure was applied to the completely grown wafer. At first, a silicon dioxide (SiO_2) film 120 was vapor deposited over the wafer surface and then patterned in a circular form by a photo-etching step. This state is shown in FIG. 10(a).

[0080] Using the pattern as a mask region, mesa etching is conducted just below the AlAs upper current confinement layer 107 (FIG. 10(b)). As the etching solution, a mixed solution of hydrogen bromide (HBr) and aqueous hydrogen peroxide (H_2O_2) water (H_2O) is used. Successively, selective oxidation is applied to the thus formed mesa structure for confining electric current. The lateral side portions 121, 122 of the AlAs upper current confinement layer 107 were converted into an Al_xO_y insulation layer by heating the wafer to 400°C . in a steam atmosphere. Thus, an apertured portion of 5 μm diameter ϕ is formed in the central portion of the device (FIG. 10(c)).

[0081] Subsequently, the SiO_2 film 120 was removed and, by way of the photo-etching step, both the upper DBR 110 and the third spacer layer 108 were removed by etching to just above the second spacer layer 106 (FIG. 10(d)).

[0082] For improving the yield in this etching step, an etching stopper layer comprising aluminum gallium phosphide (AlGaInP) at $[1/4]$ wavelength thickness may be introduced between the upper DBR 110 and the third spacer layer 108. Finally, a ring-shaped p side upper electrode 109 (FIG. 10(e)) and a side lower electrode 101 were formed (FIG. 10(f)) and a surface emitting laser device was completed. In the example shown in FIG. 10, since wet etching was adopted, the mesa shape of the device is somewhat different from the cross section as exemplified in FIG. 3. However, this has no relation with the basic feature of this invention and the device characteristic has no substantial difference. Further, by the use of dry etching, the same cross section as that exemplified in FIG. 3 can be obtained easily.

[0083] The thus manufactured surface emitting laser device lases continuously at a lasing wavelength of 1.3 μm and at a threshold current of 0.1 mA at a room temperature, and the device resistance was 10Ω . The modulation characteristic of this device was satisfactory also at 30 GHz.

[0084] Successively, an optical module shown in FIG. 8 was manufactured by using this device. Further, an optical system as shown in FIG. 9 could be constituted.

[0085] The optical system according to this invention can decrease the number of parts and the size of the module small since the device driving circuit is simple and effective. Particularly, use of GaInNAs of good temperature characteristic as the active layer material is one of the reasons. Further, yield upon manufacture of the device is high thereby enabling to attain remarkable reduction of cost. Furthermore, the optical module less degrades the active layer since the resistance of the surface emitting layer is low and heat generation is small. Accordingly, stable characteristic over a longer period of time compared with the existing optical module could be provided.

[0086] <Embodiment 2 of the Invention>

[0087] As an Embodiment 2 of the invention, manufacture of a surface emitting laser structure using the regrowth process according to this invention is to be described specifically. The device structure is shown in FIG. 11.

[0088] The MOCVD method is used for the manufacture of this device structure. Triethyl gallium (TEG) and trimethyl indium (TMI) as organic metals respectively were used as the source for Ga and In of

group III element and AsH₃ was used as the source for As of the group V element. Further, silane (Si) was used as the n-type impurity and CBr₄ as the p-type impurity. Dimethyl hydrazine (DMHy) was as the N source.

[0089] For the semiconductor substrate to be manufactured, a GaAs (100) face substrate (n-type impurity concentration = $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 202 is used. After elevating the temperature of the substrate in an atmosphere under the supply of AsH₃, a lower DBR 203 with n-type AlAs/GaAs (n-type impurity concentration = $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) is layered by 30 period on the substrate. Each film thickness was controlled respectively to $[1/4]$ wavelength thickness in the semiconductor. Subsequently, a first spacer 204 comprising a non-doped GaAs layer at a $[1/2]$ wavelength thickness and a multiple quantum well active layer 205 comprising a well layer of non-doped Ga_{0.7}In_{0.4}N_{0.03}As_{0.96} of 10 nm thickness and a non-doped GaAs barrier layer of 10 nm thickness were formed. The number of well layers was 3.

Successively, a second spacer layer 206 comprising non-doped GaAs layer at $[1/2]$ wavelength thickness and a current confinement layer 207 comprising an n-type GaInP of 10 nm thickness were formed.

[0090] Successively, a modulation dope layer 211 comprising AlGaAs/GaInAs/GaAs as a structure particularly forms the feature of this invention was layered. As the low concentration dope layer 213 modulation dope layer 211, a combined structure of a non-doped GaAs layer at 5 nm thickness and a low concentration dope GaInAs layer at 5 nm thickness was used, and a p-type AlGaAs layer at 5 nm thickness (p-type doping concentration = $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) was used as the high concentration dope layer 212. The Al content in the AlGaAs layer was set to 40%. This forms a channel with 2-dimensional hole gas mainly in the GaInAs layer. The modulation doped structure described above was layered repeatedly for six times. Successively, a portion of the p-type GaAs third spacer layer 208 (p-type doping concentration = $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) was formed to complete a crystal growth process for the first time.

[0091] For the wafer taken out into atmospheric air, a desired pattern was formed by a photo-etching and the modulation dope layer 211 and the current confinement layer 206 were removed by etching, thus forming an apertured portion with a diameter $[\phi]$ of 3 $[\mu\text{m}]$.

[0092] Then, the wafer was introduced again into the growing apparatus and a p-type GaAs third spacer 208 at $[1/2]$ wavelength thickness (p-type doping concentration = $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) was formed. The diameter in the apertured portion was about 100 nm and no adverse effect by the step upon regrowth was observed. Finally, an upper DBR 210 with non-doped AlAs/GaAs was layered for 25 periods to complete the crystal growth process. Each film thickness was adjusted to $[1/4]$ wavelength thickness in the semiconductor processing step for the manufacture of the device structure was applied to the completed multi-layer grown wafer. At first, SiO₂ was vapor-deposited over the entire surface, which was patterned by a photolithographic step into a circular shape and, using the pattern as a mask, both sides of the upper DBR 210 were removed by etching to just above the third spacer layer 208. For improving the yield in this etching step, an etching stopper layer comprising AlGaInP at $[1/4]$ wavelength thickness may be introduced between the upper DBR 210 and the third spacer layer 208. Finally, a ring-shaped p-side electrode 209 and an n-side lower electrode 201 were formed to complete as a device.

[0093] The thus manufactured surface emitting laser device oscillated continuously at a laser wavelength of 1.3 $[\mu\text{m}]$ and at a threshold current of 0.1 mA at a room temperature and a device resistance was 8 $[\Omega]$. The modulation characteristic of this device was satisfactory also at 30 G.

[0094] For reducing the contact resistance between the third spacer 208 and the p-side electrode 209, it is effective to apply carbon (C) delta doping with CBr₄ after growing the third spacer layer 208.

[0095] The optical module shown in FIG. 8 was manufactured by using this device. Further, an optical system as in FIG. 9 could be constituted. Like that in Embodiment 1, it had high performance and low cost. Furthermore, the cost for the module itself could be reduced remarkably.

[0096] While explanations have been made in this embodiment only to the example of using GaInN, the active layer but it is not restricted only thereto and it will be apparent that various kinds of surface emitting semiconductor laser devices can be provided. For instance, a surface emitting laser device at a $[\mu\text{m}]$ range can be provided by using a material such as GaAsSb. Further, as described previously, AlGaAs or the like at high Al content is used as the low concentration dope layer, the material itself becomes transparent to light at 1 $[\mu\text{m}]$ wavelength or less, which is applicable also to surface emitting lasers at wavelength of 1 $[\mu\text{m}]$ or less. Similar effect can also be obtained also on an indium phosphide (InP) substrate providing that there is a satisfactory combination of semiconductor materials capable of forming 2-dimensional carriers. This can provide an optical module of high performance and reduce cost.

[0097] As has been described above with reference to each of the preferred embodiments, according

invention, the high speed optical module using the surface emitting laser as a light source can be improved in the performance and reduced in the cost by the remarkable lowering of the device resistance in the surface emitting laser. The surface emitting laser of such low resistance can be attained by a structure having, on a semiconductor substrate, an active layer for generating light, a current confinement region disposed on the side opposite to the substrate relative to the active layer and a cavity comprising reflecting the active layer and the current confinement region vertically therebetween, in which the current flowing from the electrode disposed on the side opposite to the substrate relative to the current confinement region to the current confinement region has a component in the horizontal direction relative to the surface of the substrate and the current component in the horizontal direction is conducted mainly by way of the channel for the 2-dimensional carrier gas. Specifically, this can be attained by introducing a modulation dope layer between the current confinement layer and the upper electrode.

[0098] According to this invention, it is possible to provide a surface emitting semiconductor laser capable of high speed operation. This invention can attain a high speed, for example, of 10 Gb/s or higher.

[0099] According to this invention, it is possible to provide an optical module for mounting thereon a surface emitting semiconductor laser device capable of higher speed operation.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Claims of correspondent: **US2002075921**

What is claimed is:

1. A surface emitting laser device at least comprising, on a semiconductor substrate, an active region generating light, a current confinement region disposed on the side opposite to the semiconductor substrate relative to the active region, an optical cavity comprising reflectors putting the active region and the current confinement region vertically therebetween in the direction of layering the semiconductor layer, a first electrode disposed on the side of the semiconductor substrate relative to the current confinement region and a second electrode disposed on the side opposite to the semiconductor layer relative to the current confinement region, and having a layered structure capable of forming 2-dimensional carrier gas between the current confinement region and the second electrode.

2. A surface emitting laser device as defined in claim 1, wherein the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers has at least a first semiconductor layer containing impurities at high concentration and having a wide band gap and a second semiconductor layer containing impurities at a concentration lower than that of the first semiconductor layer or substantially not containing impurities and having a band gap narrower than that of the first semiconductor layer.

3. A surface emitting laser device as defined in claim 1, wherein at least a portion of the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers is contained in the optical cavity.

4. A surface emitting laser device as defined in claim 1, wherein at least a portion of the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers is contained in the optical cavity, and at least a portion of the semiconductor laser region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers has at least a first semiconductor layer containing impurities at high concentration and having a wide band gap and a second semiconductor layer containing impurities at a concentration lower than that of the first semiconductor layer or substantially not containing impurities and having a band gap narrower than that of the first semiconductor layer.

5. A surface emitting laser device as defined in claim 3, wherein the semiconductor region having a layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers absorbs less than 1% of the laser beam.

6. A surface emitting laser device as defined in claim 4, wherein the semiconductor region having a

layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers absorbs less than 1% of the laser beam.

7. A surface emitting laser device as defined in claim 1, wherein the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional layers is at the outside of the optical cavity.

8. A surface emitting laser device as defined in claim 1, wherein the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional layers is at the outside of the optical cavity, and having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers has at least a first semiconductor layer containing impurities at high concentration and having a wide band gap and a second semiconductor layer containing impurities at a concentration lower than that of the first semiconductor layer or substantially not containing impurities and having a band gap narrower than that of the first semiconductor layer.

9. A surface emitting laser device as defined in claim 2, wherein the first semiconductor layer containing the impurities at high concentration has a p-conduction type and carriers in the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers are holes.

10. A surface emitting laser device as defined in claim 3, wherein the first semiconductor layer containing the impurities at high concentration has a p-conduction type and carriers in the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers are holes.

11. A surface emitting laser device as defined in claim 4, wherein the first semiconductor layer containing the impurities at high concentration has a p-conduction type and carriers in the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers are holes.

12. A surface emitting laser device as defined in claim 5, wherein the first semiconductor layer containing the impurities at high concentration has a p-conduction type and carriers in the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers are holes.

13. A surface emitting laser device as defined in claim 6, wherein the first semiconductor layer containing the impurities at high concentration has a p-conduction type and carriers in the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers are holes.

14. A surface emitting laser device as defined in claim 7, wherein the first semiconductor layer containing the impurities at high concentration has a p-conduction type and carriers in the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers are holes.

15. An optical module having, on a predetermined frame, as a light source a surface emitting laser device having, on a semiconductor substrate, an active region for generating light, a current confinement region disposed on the side opposite to the semiconductor substrate relative to the active region, an optical cavity comprising reflectors putting the active region and the current confinement region vertically therebetween in the direction of layering the semiconductor layer, a first electrode disposed on the side of the semiconductor substrate relative to the current confinement region and a second electrode disposed on the side opposite to the semiconductor layer relative to the current confinement region, and having a layered structure capable of forming 2-dimensional carriers between the current confinement region and the second electrode.

16. An optical module as defined in claim 15, wherein the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers has at least a first semiconductor layer containing impurities at high concentration and having a wide band gap and a second semiconductor layer containing impurities at a concentration lower than that of the first semiconductor layer or substantially not containing impurities and having a band gap narrower than that of the first semiconductor layer.

17. An optical system having a surface emitting laser device at least comprising, on a semiconductor substrate, an active region for generating light, a current confinement region disposed on the side opposite to the semiconductor substrate relative to the active region, an optical cavity comprising reflectors putting the active region and the current confinement region vertically therebetween in the direction of layering the semiconductor layer, a first electrode disposed on the side of the semiconductor substrate relative to the current confinement region and a second electrode disposed on the side opposite to the semiconductor layer relative to the current confinement region, and having a layered structure capable of forming 2-dimensional carriers between the current confinement region and the second electrode.

to the semiconductor substrate relative to the active region, an optical cavity comprising reflectors on the active region and the current confinement region vertically therebetween in the direction of layer semiconductor layer, a first electrode disposed on the side of the semiconductor substrate relative to current confinement region and a second electrode disposed on the side opposite to the semiconductor layer relative to the current confinement region, and having a layered structure capable of forming 2-dimensional carriers between the current confinement region and the second electrode.

18. An optical system as defined in claim 17, wherein the semiconductor region having the layered structure capable of forming the 2-dimensional carriers has at least a first semiconductor layer containing impurities at high concentration and having a wide band gap and a second semiconductor layer containing impurities at a concentration lower than that of the first semiconductor layer or substantially not containing impurities and having a band gap narrower than that of the first semiconductor layer.

19. An optical system having an optical module as defined in claim 15.

20. An optical system having an optical module as defined in claim 16.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-185079

(P2002-185079A)

(43) 公開日 平成14年6月28日 (2002.6.28)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 S 5/183

識別記号

F I

H 0 1 S 5/183

テーマコード^{*}(参考)

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2000-381433(P2000-381433)

(22) 出願日 平成12年12月15日 (2000.12.15)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 北谷 健

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 近藤 正彦

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男 (外2名)

最終頁に続く

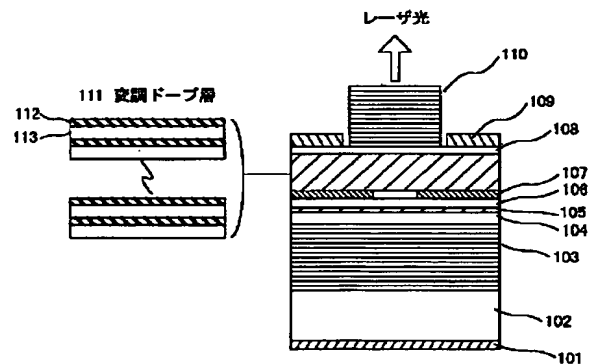
(54) 【発明の名称】 面発光型レーザ装置、これを用いた光モジュール、及び光システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 10Gb/s以上の高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置、および光モジュールを提供する。

【解決手段】 半導体基板102上に、光を発生する活性層領域105と、この活性層領域を挟んで半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域107と、当半導体層の積層方向において、活性層領域と電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、電流狭窄領域を挟んで、半導体基板側に設けられた第1の電極と、半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、電流狭窄領域と第2の電極の間に2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有する面発光型レーザ装置である。

図 3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第 1 の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第 2 の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間に 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有することを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項 2】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第 1 の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第 2 の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間の少なくとも一部に 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、且つ前記 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が、高濃度に不純物を含有し且つ広い禁制帯幅を有する第 1 の半導体層と、前記第 1 の半導体層より低い濃度で不純物を含有するかあるいは実質的に不純物を含有せず且つ前記第 1 の半導体層より狭い禁制帯幅を有する第 2 の半導体層とを少なくとも有してなることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項 3】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第 1 の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第 2 の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間に 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、且つ当該 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域の少なくとも一部が前記光共振器内に含まれることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項 4】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第 1 の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第 2 の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間の少なくとも一部に 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造

を有する半導体層領域を有し、当該 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域の少なくとも一部が前記光共振器内に含まれ、且つ前記 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が、高濃度に不純物を含有し且つ広い禁制帯幅を有する第 1 の半導体層と、前記第 1 の半導体層より低い濃度で不純物を含有するかあるいは実質的に不純物を含有せず且つ前記第 1 の半導体層より狭い禁制帯幅を有する第 2 の半導体層とを少なくとも有してなることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項 5】 前記 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域の当該レーザ光の吸収が 1 % 未満であることを特徴とする請求項 3 及び請求項 4 のいずれかに記載の面発光型レーザ装置。

【請求項 6】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第 1 の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第 2 の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間に 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、且つ当該 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が前記光共振器の外部にあることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項 7】 半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第 1 の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第 2 の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第 2 の電極の間の少なくとも一部に 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、当該 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が前記光共振器外にあり、且つ前記 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が、高濃度に不純物を含有し且つ広い禁制帯幅を有する第 1 の半導体層と、前記第 1 の半導体層より低い濃度で不純物を含有するかあるいは実質的に不純物を含有せず且つ前記第 1 の半導体層より狭い禁制帯幅を有する第 2 の半導体層とを少なくとも有してなることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【請求項 8】 前記高濃度に不純物を含有する第 1 の半導体層が p 導電型を有し、当該 2 次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域におけるキャリアが正孔であることを特徴とする請求項 2 より請求項 7 のいずれかに記載の面発光型レーザ装置。

【請求項 9】 所定の枠体に、請求項 1 より請求項 8 の

いずれかに記載の面発光型レーザ装置を光源として有することを特徴とする光モジュール。

【請求項10】 請求項1より請求項8のいずれかに記載の面発光型レーザ装置あるいは請求項9に記載の光モジュールの少なくとも一者を有することを特徴とする光システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本願発明は、垂直共振器を有する面発光型レーザ装置とそれを有した光モジュール、及び、光システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年のインターネット人口の爆発的増大により、オフィス等のローカルエリアネットワーク（LAN）においては情報伝送の急速な高速化が求められている。5～10年後には、末端ユーザにおいてはGb/sレベル、HUB（中継器）間を結ぶバック・ボーン（backbone）においては10Gb/sレベルを超える伝送速度が必要になると予測されている。そのため近い将来には、末端ユーザまで光ファイバーを用いた光通信の全面的導入が必須であると考えられる。通常、光通信には、半導体レーザ、受光素子、及び、それらの駆動回路等を組み込んだ光モジュールが用いられる。将来のLANで用いられる光モジュールにおいては、10Gb/sを超える高速伝送が可能であるという性能面での要求に加えて、莫大な数の一般ユーザが使用することを念頭におき、低コストで提供することが必須となる。

【0003】図1に、これまでに知られている10Gb/sを超える高速光モジュールの概略図を示す。

【0004】ここで、401は半導体レーザ装置、402はレーザ駆動回路、403は半導体レーザ装置よりの光出力のモニター用の受光素子、404は素子の温度安定化のためのペルチェ素子、405は受光素子、406は受光素子駆動回路、407は光モジュールパッケージ全体、408は光モジュールを動作させる外部回路、409は光ファイバーである。光モジュールは、外部回路408に従って、半導体レーザ装置401からレーザ光を発生する。ここで、10Gb/sを超える高速変調光は、外部変調器403を通して送信される。また、相手の光モジュールから送信された光信号を、受光素子405によって受信する。全ての光信号は、光ファイバー409を通して高速でやり取りされる。ここで、半導体レーザ装置としては、ガリウムインジウム燐砒素（GaInPAs）系の半導体材料を活性層に用いた端面発光型のレーザが主として用いられている。発振波長は、長距離、高速伝送が可能なシングルモードファイバーへ適用できる1.3μm、あるいは1.55μmである。

【0005】一般に、GaInPAs系レーザは、素子温度が上昇した時に、しきい値電流が大きく増大すると

いう欠点を有している。そのため、温度安定用のペルチェ素子404を組み込む必要があった。以上により、光モジュールを構成する部品数が多く、その為モジュールサイズも大型であり、光モジュール自体のコストが高かった。これは、従来10Gb/sという伝送速度のレベルが、主としてコストよりも性能が重視される幹線系伝送網に用いられていたことと大きく関連している。こうした観点から、従来の10Gb/s光モジュールは、低コスト化が必須の将来のLANへの適用において本質的に不向きである。尚、図中の点線は、半導体レーザ設置の光送信側と、受光素子設置の光受信側との区切りを示すが、それぞれの部分が独立して、光送信モジュール、及び、光受信モジュールとして構成される場合もある。また、図では、光出力モニター用の受光素子等は省略して示してある。

【0006】それに対して、将来的にLANで使用される高速光モジュールに適した光源として、面発光レーザが注目を集めている。面発光レーザは、その共振器長が僅か数μmであり、端面発光レーザの共振器長（数100μm）に比べてはるかに短く、基本的に高速特性に優れる。さらに、（1）ビーム形状が円形に近く光ファイバとの結合が容易であること、（2）製造工程中では、へき開工程が不要でウェハ単位の素子検査が可能であること、（3）低しきい値電流でレーザ発振し低消費電力といった低コスト化においても優れた特徴を有する。また、レーザの発振波長に関しても、近年、ガリウムインジウム窒素砒素（GaInNAs）、ガリウム砒素アンチモン（GaAsSb）といったガリウム砒素（GaAs）基板上に形成可能な新しい半導体材料による1.3μm帯の面発光レーザの発振が相次いで報告されている。

【0007】これらの半導体レーザ装置は、長距離、高速伝送が可能なシングルモードファイバーに適合する長波長帯面発光レーザ実用化の期待が非常に高まっている。特に、GaInNAsを活性層に用いた場合には、伝導帯における深いポテンシャル井戸で電子を閉じ込めることができ、温度に対する特性の安定性も大幅に改善できると予測されている。GaInNAsを活性層に用いた長波長帯面発光レーザ装置は、こうした利点により、高性能、且つ低コストで、LANでの使用に適した光モジュールを提供することが、可能であると期待されている。

【0008】面発光レーザの基本構成は、光を発生する活性層と、活性層の微少領域に電流を注入するための電流狭窄層、及び、当前記活性層を上下に挟むように配置された1組の反射鏡からなる光共振器をもって構成されている。通例、前記反射鏡は半導体多層膜反射鏡（DBR）が用いられ、電流は、この反射鏡の半導体多層膜を介して、活性層に注入される。

【0009】一方、半導体多層膜反射鏡は抵抗が高いの

で、上部の例えば、半導体多層膜になる反射鏡を介さず電流を注入する別構造の面発光レーザも検討されている。一例として、日本国公開公報、特開平11-204875号公報(1999/7/30公開)に記載の面発光レーザがある。図2にその素子構造図を示す。ここで、501は下部電極、502は半導体基板、503は下部多層膜反射鏡、504は第1スペーサー層、505は活性層、506は第2スペーサー層、507は電流狭窄層、508は電流導入層、509は第3スペーサー層、510は上部電極、511は上部の多層膜反射鏡である。上部電極510を、上部多層膜反射鏡511の横に配置しているため、上方からの注入電流は、第3スペーサー層509から電流導入層508を通して、電流狭窄層507で限定されたアパーチャーに導かれ、活性層505に導入される。即ち、注入される電流は、上部多層膜反射鏡511を介さないの、素子抵抗の低減が図れる。さらに本構造においては、ドーピング濃度を高めた電流導入層508を導入し、電極とアパーチャー間の基板面に対して水平方向の抵抗成分(以下、横方向抵抗と記述する。)の低減を試みている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本願発明は、高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置を提供せんとするものである。本願発明は、例えば、10Gb/s以上の高速動作を達成せんとする。

【0011】本願発明の別な目的は、高速動作が可能で且つ安価な面発光半導体レーザ装置を提供せんとするものである。

【0012】本願発明の更に別な目的は、より高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置搭載の光モジュールを提供せんとするものである。

【0013】こうした課題に対応する為に技術的には、面発光レーザにおける以下の課題を解決することを要する。即ち、第1点は、抵抗の高い上部の半導体多層膜反射鏡を介さずに電流を活性層領域に注入できる面発光型レーザ装置構造を採用することである。この為には、電極からアパーチャーを通過し、活性層領域に注入される電流の横方向抵抗を低減できる新たな手法を提供し、10Ω前後の大幅な素子抵抗の低減を達成することが必要となる。

【0014】

【課題を解決するための手段】本願発明の代表的な形態は、半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第1の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間に2次元キャリア

の生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有することを特徴とする面発光型レーザ装置である。

【0015】前記2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域は、本願発明の目的に、わけても、いわゆる変調ドーピングがなされていることが好ましい。即ち、本願発明の第2の形態は、半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、当該半導体層の積層方向において、前記活性層領域と前記電流狭窄領域とを上下で反射鏡で挟んだ光共振器と、前記電流狭窄領域を挟んで、前記半導体基板側に設けられた第1の電極と、前記半導体基板と反対側に設けられた第2の電極とを少なくとも有し、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間の少なくとも一部に2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域を有し、且つ前記2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域が、高濃度に不純物を含有し且つ広い禁制帯幅を有する第1の半導体層と、前記第1の半導体層より低い濃度で不純物を含有するかあるいは実質的に不純物を含有せず且つ前記第1の半導体層より狭い禁制帯幅を有する第2の半導体層とを少なくとも有してなることを特徴とする面発光型レーザ装置である。

【0016】前記2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域は、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間の少なくとも一部に存在すれば、その効果を発揮する。後述する実施例では、当該2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する半導体層領域は基板面に対してほぼ全面に形成されている。実際の製造において、より現実的な形態が説明されているが、本願発明の目的である、前記電流狭窄領域と前記第2の電極の間の電流通路に2次元キャリアの生成が可能な積層構造が存在することが重要なのである。あるいは、逆の見方をすれば、2次元キャリアの生成が可能な積層構造を有する領域が電流通路の主要部分を構成するのである。従って、基板面に平行な面に対して全面に2次元キャリアの生成が可能な積層構造を形成することは、必ずしも必要ではない。また、2次元キャリアの生成が可能な積層構造と電流狭窄領域の間に、更に半導体層が挿入されることも有り得る。この場合も、2次元キャリアの生成が可能な積層構造を設けることによる効果は発揮される。

【0017】このように、本願発明の基本構成は、電流狭窄領域を挟んで基板と逆側に配置された電極から前記電流狭窄領域へ流れる電流が、基板面に対して水平方向の成分を有する面発光レーザにおいて、前記水平方向の電流成分を、主として2次元キャリアガスのチャンネルを介して伝導させるものである。具体的には、前記2次元キャリアガスのチャンネルが、前記電極と電流狭窄領域間の少なくとも一部に、少なくとも1種類の禁制帯幅の広い半導体からなる高濃度ドーピング層と、少なくとも1種類のそれより禁制帯幅の狭い半導体からなる低濃

度ドーピング層（この低濃度ドーピング層にはドーピングを施さない場合も含んで考えて十分である）とを積層した変調ドーブ構造によって形成されることにより達成される。

【0018】こうして、本願発明の主目的の達成に、p型伝導に起因する面発光レーザ装置の抵抗低減を図り、そのために、主として正孔をキャリアにした2次元正孔ガスをを用いる。

【0019】

【発明の実施の形態】本願発明の基本構成を上述したが、次に、本願発明の主な実施の形態を列挙する。

【0020】本願発明の第1の形態は、半導体基板上に、光を発生する活性層領域と、この活性層領域を挟んで基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、前記活性層領域と前記電流狭窄領域の上下を反射鏡で挟んだ光共振器とを有し、前記電流狭窄領域を挟んで前記半導体基板と逆側に配置された電極から前記電流狭窄領域へ流れる電流が、基板面に対して水平方向の成分を有し、前記水平方向の電流成分が、主として2次元キャリアガスのチャンネルを介して流れる面発光型レーザ装置である。

【0021】本願発明の第2の形態は、前記第1の形態における2次元キャリアガスのチャンネルが、前記電極と電流狭窄領域間の少なくとも一部において、少なくとも1種類の禁制帯幅の広い半導体からなる高濃度ドーピング層と、少なくとも1種類のそれより禁制帯幅の狭い半導体からなる低濃度ドーピング層（ドーピングを施さない場合も含む）とを積層した変調ドーブ構造によって形成されている面発光型レーザ装置である。

【0022】本願発明の第3の形態は、前記第2の形態における変調ドーブ構造によるレーザ波長光の吸収が1%未満であり、前記変調ドーブ構造が、光の導波する共振器内を含んで設けられる面発光型レーザ装置である。変調ドーブ構造が光共振器の内部に組み込まれていても、この構造におけるレーザ光の吸収が1%未満であれば、十分通例の面発光型レーザ装置と同様に駆動することが出来る。勿論、次に例示するように、変調ドーブ構造を光共振器の外部に設けると、こうしたレーザ光の吸収の問題は回避される。

【0023】本願発明の第4の形態は、前記第2の形態における変調ドーブ構造が、光の導波する共振器外に設けられることを特徴とする面発光型レーザ装置。

【0024】本願発明の第5の形態は、前記第1より第4の形態における変調ドーブ構造における高濃度ドーピング層がp型であり、2次元キャリアガスが正孔である面発光型レーザ装置である。

【0025】本願発明の第6の形態は、前記第2より第5の形態における変調ドーブ構造における高濃度ドーピング層にAlGaAs、AlGaInP、或いは、それらの積層構造、そして、低濃度ドーピング層にGaAs、GaInAs、或いは、それらの積層構造が用いら

れている面発光型レーザ装置である。ここに列挙したIII-V族化合物半導体材料は、本願発明の実施に極めて好都合な材料である。これらの材料は、面発光型レーザ装置の各種特性の観点から優れた特性を得ることが容易であるGaAs基板上に良好な膜が形成し易いのである。従って、当該面発光型レーザ装置においても、より良好な特性を容易に得ることが出来る。

【0026】次に、具体的な実施の形態を説明するに先立って、本願発明の基本思想の詳細を追加説明する。

【0027】10Gb/sを超える高速の動作特性を有する光モジュール実現に対しては、当然のことながら、光源として用いる面発光レーザにおいて10Gb/sを超える高速特性を達成する必要がある。そのためには、面発光レーザ装置の抵抗(R)、及び、容量(C)の低減が不可欠である。

【0028】一般に、半導体レーザ装置の基礎的な変調特性は、素子の光出力が3dB低下する変調周波数(f3dBと略記する)で評価される。ここで、f3dBは、RとCを用いて以下の式(1)で表される。

$$f_{3dB} = 1 / (2\pi R \cdot C) \quad (1)$$

こうした事実は、例えば、先端光エレクトロニクスシリーズ「面発光レーザの基礎と応用」共立出版発行、伊賀健一、小山二三夫共著、の第184頁に説明されている。

【0029】上記式(1)から、素子のf3dBとして、数10Gb/sを達成するには、素子抵抗を10Ω前後まで低減する必要があることが理解される。ここで、面発光レーザ装置の容量は、一般的な値として500fFと仮定した。素子容量をさらに低減できれば、素子抵抗の許容量は、例えば10Ωより大きくできるが、その場合にも、低抵抗化が重要であることは言うまでもない。更に、約10Ωの素子抵抗は端面発光型のレーザに匹敵する低い値であり、これが実現できれば、従来、端面発光型レーザに用いてきたレーザの駆動回路等を流用できる可能性がある。その場合、新たな開発コストなどが不要になり、本願発明による面発光レーザ装置を用いた光モジュールの低コスト化において有利である。＜従来技術との比較考察＞面発光レーザには、AlAs/GaAs系の半導体多層膜になる反射鏡が主として用いられていることは、既に述べた。従来素子では、上部にp型のAlAs/GaAs系の半導体多層膜になる反射鏡の上に電極が配置され、この半導体多層膜反射鏡を通して活性層に電流が注入されていた。その際、AlAs/GaAs系半導体のヘテロ界面におけるエネルギー差は、有効質量の重い正孔にとって大きな抵抗成分になり、素子抵抗を増大させてしまうことが問題である。その対策として、AlAs/GaAsヘテロ界面に組成を徐々に変化させたAlGaAs半導体層を導入し、かつ、そのAlAs側のみにp型ドーピングを施して、ヘテロ界面の抵抗成分を低減する等の試みがなされてい

る。しかしながら、本質的にp型AlAs/GaAs系半導体多層膜反射鏡の抵抗が高く、大幅な素子抵抗の低減を達成することは困難である。

【0030】一方、前述の特開平11-204875（1999/7/30公開）に記載の面発光レーザについて検討してみる。この例は、抵抗の高い上部p型半導体多層膜反射鏡を介さず電流を注入する構造を有している。

【0031】横方向抵抗は、シート抵抗（ R_c ）に比例する。ここで、 R_c は以下の式（2）で表される。

$$R_c = 1 / (N_s \cdot e \cdot \mu) \quad (2)$$

ここで、 N_s は層のシート・キャリア濃度、 e は電気素量、 μ は層の移動度、 t は層の膜厚である。 N_s は、キャリア濃度（ p ）と層の移動度（ μ ）の積（ $N_s = p \mu$ ）で表される。

【0032】前述の図2に示す従来素子では、電流導入層508には通常の半導体膜が用いられる。半導体膜においては、キャリア濃度 p （即ち、シート・キャリア濃度 N_s ）を増大させれば、ドーピング材料等による散乱要因が増大し、 μ が低下するというトレードオフの関係が存在する。そのため、図2に示した従来構造では、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高濃度ドーピングを施さなくては大幅な素子抵抗の低減を達成できない。また、電流狭窄層507、電流導入層508を素子内部に埋め込むため、再成長工程が余分に必要となる。ここで、第3スペーサー層509を再成長する際に、電流狭窄層507、電流導入層508を除去した後のアパーチャー部の段差が大きいと、段差部にファセットが生じ、僅か数 μm 径のアパーチャー部へせり出す等の悪影響を及ぼす。見積によれば、本構造において 10Ω 前後の素子抵抗を達成する際には 300 nm 以上の膜厚段差が生じる。よって、既に記述した様な結晶成長上の観点から、目標の素子抵抗値の達成は非常に困難であると考えられる。

<本願発明の代表形態>次に、これらの例に見られる難点を回避した本願発明の形態を詳細に説明する。図3に本願発明による素子構造の断面図を示す。ここで、いわゆる変調ドーブ層111は図の左側に拡大して詳細を示した。図4はこの上面図である。

【0033】図3において、符号101は下部電極、102は半導体基板、103は下部の多層膜反射鏡、104は第1のスペーサー層、105は活性層領域、106は第2のスペーサー層、107は電流狭窄層、108は第3のスペーサー層、109は上部電極、110は上部の多層膜反射鏡、111は変調ドーブ層、112は高濃度ドーピング層、113は低濃度ドーピング層である。この層113にはドーピングを施さない場合もあり、符号113はこうした層も含むものとする。電流狭窄層107の形成方法は通例の方法に従って十分である。その一例は後述される。

【0034】前記変調ドーピング層は、当該技術分野で

用いられる構成を用いて十分である。層の具体的仕様は、材料、例えばIII-V族化合物半導体材料の選択やレーザの特性に対する要求仕様によって選択されるが、その代表的な例を例示すれば、次の通りである。例えば、GaAsを基板とする面発光レーザ装置では、高濃度ドーピング層は、例えば、AlGaAs、AlGaInP、あるいはこれらの積層構造体などが代表的な例である。高濃度ドーピング層の厚さは、 50 nm 以下、より好ましくは 10 nm 以下、ドーブ量は例えば $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上が多用される。一方、低濃度ドーピング層は、例えば、GaAs、GaInAs、あるいはこれらの積層構造体などが代表的な例である。低濃度ドーピング層の厚さは、 100 nm 以下、ドーブ量は例えば $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下が多用される。

【0035】変調ドーブ層111においては、高濃度ドーピング層112から供給されたキャリアが、高濃度ドーピング層112と低濃度ドーピング層113の界面の低濃度ドーピング層側に形成された移動度の高い2次元キャリアのチャンネルを流れる。そのため、高濃度ドーピング層におけるドーブ量を増大させる事で、キャリア濃度 p を増大でき、その時、移動度 μ は低下することが殆ど無い。よって、キャリア濃度 p と移動度 μ の各値をそれぞれ独立に高い値に設定できる。よって、前記

（2）式から判るように、 R_c の大幅な低減が可能となる。

【0036】図2に示す従来素子では、電流導入層の膜厚を2倍すれば、単純に2倍の抵抗低減効果しか得られない。しかし、本願発明では、変調ドーブ構造を2周期繰返しせば、ヘテロ界面に形成される2次元キャリアのチャンネルは3つとなるため、単純に2倍する以上の効果が得られる。変調ドーブ構造の繰返し周期数（ s ）に対し、形成されるチャンネル数は $2s-1$ であり、変調ドーブ構造の繰返し周期数 s を多くすればするほど、得られる効果は大きくなる。以上の効果により、本願発明構造を用いることで、面発光レーザ装置の横方向抵抗を、大幅に低減できる。尚、変調ドーブ構造の繰返し周波数 s は、ドーピング濃度に依存し、且つDBRの反射率の低下の程度等を参酌して決められる。

【0037】本願発明の素子構造において上部電極109から注入された電流は、電流狭窄層107により形成されたアパーチャーを通過して活性層領域に注入される。その際の電流は基板面に対して水平方向の成分を有する。ここで、前記水平方向の電流成分は、変調ドーブ層により形成された低抵抗な2次元キャリア・チャンネルを介して流れる。アパーチャー上部に達成したキャリアが活性層領域に注入されるために、最終的には、基板面に対して垂直方向にキャリアが伝導する必要性が多少生じる。しかし、本願発明においては、キャリアに対する障壁となる禁制帯幅の大きい高濃度ドーピング層の膜厚は、 50 nm 以下と非常に薄いこと、そして、上部、

下部電極間には電圧差による電界が印加されていること等から、それによって、特に大きな抵抗分が付加される可能性は殆ど無い。

【0038】図6に、本願発明によって達成できる素子の横方向抵抗の例を示す。尚、本素子構造の抵抗は、横方向抵抗によって支配されていると考えてよい。図6では、横軸は変調ドーブ層の膜厚、縦軸はこの層の横方向の抵抗値である。変調ドーブ層の構造は、高濃度ドーブ層としてp型のアルミニウムガリウム砒素 (AlGaAs 、膜厚5nm)、低濃度ドーピング層としてノンドーブのGaAs (膜厚25nm) とした。よって、一つのチャンネルを形成する最低単位構造の膜厚は30nmである。ここでは、高濃度ドーブ層のp型ドーピング濃度として $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ と $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の2種類の場合の計算例である。そのときの正孔のシート・キャリア濃度は、それぞれ $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ と $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 、2次元チャンネルにおける正孔の移動度は、 $500 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ と見積もられる。図6より、高濃度ドーピング層のキャリア濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の場合、変調ドーブ層の膜厚が約300nm以上あれば、 10Ω 以下の横方向抵抗が実現できる事が判る。一方、高濃度ドーピング層のキャリア濃度が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の場合には、更なる低抵抗化が可能となり、50nm程度の膜厚で、 10Ω 以下の横方向抵抗が実現できる。

【0039】次に、反射鏡と電流狭窄層の構成について追加説明する。本願発明においても、これらの技術は、これまで用いてきた一般的な技術を用いて十分である。

【0040】前述のように、面発光レーザの光共振器の長さは著しく短く、レーザ発振時の閾値電流値を低減するためには、上下の反射鏡の反射率を極めて高くすることが必要である。実用に供する閾値電流値を得るに概ね99.5%以上の反射率を必要とする。

【0041】反射鏡としては、屈折率の異なる2種類の半導体を $1/4$ 波長厚 ($\lambda/4n$: ここで、 λ は波長、 n は半導体材料の屈折率) で交互に積み重ねることにより形成した多層膜反射鏡が、主として使用されている。多層膜反射鏡に用いられる2種類の半導体材料には、少ない積層数で高反射率を得るため、両者の屈折率差ができるだけ大きいことが望まれる。また、材料が半導体結晶の場合、格子不整合転位の抑制のため、基板材料と格子整合していることが好まれる。現状では、GaAs/アルミニウム砒素 (AlAs) 系半導体材料、あるいは、二酸化珪素 (SiO_2) /二酸化チタン (TiO_2) 等の誘電体材料から構成した多層膜反射鏡が主として用いられている。また、電流狭窄層は、素子の低いしきい値電流化、単一モード化のために必須であり、活性層と電流を注入する電極の間の任意の位置に配置され、活性層に注入される電流を数 μm ～数 $10 \mu\text{m}$ の微小領域 (以下アパーチャーと記述する。) に限定する役割を果たす。具体的には、素子構造内に導入した AlAs 層を横方向

から選択的に酸化し、酸化アルミニウム (Al_2O_3) 絶縁層に変化させることで、中央に残った微小な AlAs 領域のみで電流を狭窄する方法や、バンドギャップの大きい半導体材料や、素子内の導電型とは逆の導電型にドーピングを施した材料を素子内に埋込むことにより電流を狭窄する方法等が現在主流である。

【0042】次に、レーザ光の発振波長が $1.3 \mu\text{m}$ であることを考慮し、変調ドーブ層による波長 $1.3 \mu\text{m}$ 光の吸収について検討した。図7に、変調ドーブ層の膜厚とそれによる反射鏡の反射率の変化の例について示す。ここでは、変調ドーブ層として、図6の例と同様の構造の例である。横軸は変調ドーブ層の膜厚、縦軸はDBR反射膜の反射率である。波長 $1.3 \mu\text{m}$ 光の吸収は、主としてp型高濃度ドーピング層で起る。ここでは、p型ドーブ濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の場合についてそれぞれ算定した。各条件における吸収係数の値は、それぞれ 100 cm^{-1} 、 500 cm^{-1} 、 1000 cm^{-1} である。既に述べたように、面発光レーザにおいて高性能なレーザ特性を確保するためには、99.5%以上の反射率が必要である。

【0043】図7より、本反射率を確保するためには、p型ドーピング濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の場合には約600nm、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の場合には、約150nmが限界膜厚となることが判る。

【0044】従って、図6及び図7の結果と考え併せると、本願発明においては、 10Ω 前後の素子抵抗を実現する際に、変調ドーブ層を共振器内に配置しても、レーザ光の吸収の観点からは何ら問題にならないことが判明した。

【0045】このことは、本願発明の構造においては、例えば図2に示す従来構造では必須であった再成長工程が不要となり、一度の結晶成長で全素子構造を得ることができる。従って、本願発明の構造を用いると、素子作製時の歩留まりが高いため、大幅な低コスト化を実現できる。

【0046】一方、高濃度ドーブ層による光の吸収を完全に避ける場合には、変調ドーブ構造を共振器外に設けても良い。その際には再成長工程が必要となるが、アパーチャー部に生じる膜厚段差は、図2に示す従来手法よりも低くすることができ、再成長に起因する問題は生じ難い。

【0047】本願発明において、さらに大きな効果を得るには、シート・キャリア濃度 N_s を増大させることが有効である。そのためには、変調ドーブ構造を構成する $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ の界面に、禁制帯幅の狭い、一例としてガリウムインジウム砒素 (GaInAs) などの半導体材料を低濃度ドーピング層として挿入することは有効である。すなわち、変調ドーブ構造を複数の半導体の積層構造にすることは有効である。それにより、2

次元キャリアのチャンネル幅(厚み)を増大でき、シート・キャリア濃度 N_s を増大させることができる。図5はこの変形された変調ドーピング層の断面図を例示する。112は高濃度ドーピング層、113は低濃度ドーピング層、114は禁制帯幅の狭い低濃度ドーピング層である。

【0048】これまでに述べた諸点を考慮すれば、本願発明は、波長 $1\mu\text{m}$ 以下の面発光レーザ構造においても適用可能である。その際には、レーザ波長光の吸収を抑制するために、変調ドーピング構造を構成する半導体材料は、レーザ波長光の光子エネルギーよりも禁制帯幅が大きいものから選ばれる必要がある。例えば、Al混晶組成の高いAlGaAsやAlGaInP等が適している。

【0049】図8は光モジュールの斜視図を示す。図9に、本発明による面発光レーザを用いた光システムの構成図を示す。図8及び図9において、301は本発明による面発光型レーザ装置、302はレーザ駆動回路、303は受光素子、304は受光素子駆動回路、305は光モジュールパッケージ全体、306は光モジュールを動作させる外部回路、307は光ファイバーである。面発光型レーザ装置301及び受光素子303は、枠体309に保持されている。光モジュールパッケージの内の、例えば、各駆動回路などは、外部回路に接続(308)されている。図中の矢印310、311は、各々光の射出、入射を示している。

【0050】本願発明による面発光レーザは、素子抵抗が低いため素子自体の発熱が小さく、温度変動が小さい。それに加えて、面発光レーザ自体のしきい値電流値が小さいことも相まって、使用時のしきい値電流値の変化が非常に小さくなる。それにより、従来の高速光モジュールで必要であったベルチエ素子を不要とすることが出来る。更に、小型かつ単純な回路で素子を駆動することが可能となる。また、面発光レーザ装置を直接的に変調駆動するため、外部変調器も不要とすることが出来る。以上により、部品点数を大幅に少なくでき、また、駆動回路のサイズも小さく出来る。よって、光モジュール自体のサイズも小型化し、合わせて、大幅な低コスト化を実現できる。また、素子作製時の歩留まりが高いことも、低コスト化に有効である。

【0051】更に、本願発明の係る光モジュールは、面発光レーザの抵抗が低く、素子自体の発熱が小さいことから、活性層の劣下が生じにくいので、従来の光モジュールと比較してより長時間に渡って安定な特性を提供することができる。

【0052】以上の効果は、既に述べたように、活性層における深いポテンシャル井戸で電子を閉じ込めることができる温度特性に優れた活性層材料、一例としてGaInNAs等を用いた面発光レーザにおいては、さらに顕著となる。

【0053】尚、図9の光システムの図では、図中の点線は、半導体レーザ設置の光送信側と、受光素子設置の光受信側との区切りを示すが、それぞれの部分が独立して、光送信モジュール、及び光受信モジュールとして構成される場合などもある。また、図では、光出力モニター用の受光素子等は省略して示してある。

<発明の実施の形態1>実施の形態1として、本願発明による再成長工程が不要な面発光レーザ構造の作製について具体的に記述する。その素子構造の断面図は図3、上面図は図4に示した通りである。図10に製造工程順に示した素子の断面図を示す。

【0054】面発光レーザ構造の作製においては、精密な膜厚制御や急峻なヘテロ界面作製の必要性から、材料の瞬時の切り替えが可能な分子線エビタキシー(MBE)法や有機金属化学気相成長(MOCVD)法、化学ビームエビタキシー(CBE)法等が適している。また、活性層にGaInNAsを用いる場合には、窒素(N)の導入において、非平衡状態での成長法が有利であり、その点でも、先に述べたMBE法やMOCVD法、CBE法等が成長方法として適している。勿論、本願発明の面発光レーザ装置の製造に、上記成長手法のみに限定されるものではない。ここでは成長方法を固体ソースMBE(S-S-MBE: Solid State-Molecular Beam Epitaxy)法とした。GS-MBE法では、III族元素の供給源として、ガリウム(Ga)、インジウム(In)を用い、V族元素の供給源として、砒素(As)に関しては金属Asを用いた。また、n型不純物としてシリコン(Si)、高濃度にp型ドーピングできる不純物原料として四臭化炭素(CBr₄)を用いた。なお、同様のドーピング濃度が達成できれば、p型不純物としてベリリウム(Be)や亜鉛(Zn)を用いても良い。窒素(N)についてはN₂ガスをRF(Radio Frequency)プラズマ励起した窒素(N)ラジカルを使用した。なお、窒素プラズマの励起は、その他にECR(Electron Cyclotron Resonance: 電子サイクロトロン共鳴)プラズマを用いても行うことができる。

【0055】図10の(a)を参照する。半導体基板はn型GaAs(100)基板102(n型ドーピング濃度 $=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を用いた。As雰囲気において、基板を昇温した後、基板上にn型AlAs/GaAs(n型不純物濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)による下部の半導体多層膜反射鏡103を30周期積層する。尚、AlAs/GaAsは、AlAs層とGaAs層との積層を意味する。以下、こうした表示は同様の積層を意味する。その膜厚は、それぞれ半導体中で $1/4$ 波長厚になるようにした。その後、 $1/2$ 波長厚のノンドープGaAs層第1スペーサー層104、さらに、厚さ 10 nm のノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.01}As_{0.99}の単層膜からなる活性層105、 $1/2$ 波長厚のノンドープGaAs

s層第2スペーサー層106、1/4波長厚のノンドープAlAs上部電流狭窄層107の順に形成した。

【0056】続いて、わけても本願発明の特徴構造をなすAlGaAs/GaAsからなる変調ドープ層111を積層した。変調ドープ層111における低濃度ドーピング層113として厚さ25nmのノンドープGaAs層、高濃度ドーピング層112として厚さ5nmのp型AlGaAs層(p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)を用いた。尚、AlGaAs層におけるAl組成は30%とした。これによって、AlGaAs/GaAs界面には、2次元正孔ガスのチャンネルが形成される。本変調ドーピングの構造を20回繰り返して積層した。続いて、p型GaAsになる第3スペーサー層108(p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を形成する。この第3スペーサー層108の膜厚は、変調ドープ構造を含めた合計の膜厚が、1/2波長厚の整数倍になるように調整した。最後に、ノンドープAlGaAs/GaAsによる上部の半導体多層膜になる反射鏡110を25周期積層し、結晶成長工程は完了した。尚、上部の半導体多層膜になる反射鏡110のAlGaAs層におけるAl組成は10%とした。また、膜厚は、それぞれ半導体中で1/4波長厚になるようにした。

【0057】続いて、完成した多層成長ウエハに対し、素子構造作製のためのプロセス工程を施した。最初に二酸化シリコン(SiO_2)膜120を全面に蒸着し、ホット工程にて円形状にパターニングした。この状態が図10の(a)である。

【0058】これをマスク領域にして、AlAs上部電流狭窄層107の直下までメサエッチングを行う(図10の(b))。

【0059】ここで、エッチング液としては、臭化水素(HBr):過酸化水素水(H_2O_2):水(H_2O)を混合した液を用いる。続いて、形成されたメサ構造に、電流狭窄を行うための選択酸化を施す。水蒸気雰囲気中にて、ウエハを400℃に加熱することで、AlAs上部電流狭窄層107の側面部分121、122がAlxOy絶縁層に変化した。これにより、直径φが5μmのアパーチャー部が素子中央に形成された(図10の(c))。

【0060】その後、 SiO_2 膜120を除去し、ホット工程を経て、上部半導体多層膜反射鏡110の両側を、第3スペーサー層108直上までエッチングにて除去した(図10の(d))。

【0061】尚、本エッチング工程での分留りを向上させるため、上部半導体多層膜反射鏡110と第3スペーサー層108の間に、1/4波長厚のアルミニウムガリウムインジウム燐(AlGaInP)からなるエッチングに対するストップ層を導入してもよい。最後に、リング状p側上部電極109(図10の(e))、n側下部電極101を形成し(図10の(f))、面発光レーザ

装置として完成した。尚、図10の例では、ウェットエッチングを用いたので、素子のメサ形状が図3に例示した断面とやや異なっている。しかし、この点は本願発明の基本には関係なく、素子特性も本質的に変わるものではない。また、ドライエッチングを用いることで、図3に例示した断面と同じものを、容易に得ることが出来る。

【0062】このようにして作製された面発光レーザ装置は、発振波長1.3μm、閾値電流0.1mAで室温において連続発振し、素子抵抗は9Ωであった。本素子の変調特性は、30GHzにおいても良好であった。

【0063】続いて、本素子を用いて、図8に示す光モジュールを作製した。又、図9のごとき光システムを構成することが出来た。

【0064】本願発明による光システムは部品点数が少なくでき、また、素子の駆動回路が単純で良いためサイズが小型である。特に、活性層材料として温度特性の良いGaInNAsを用いていることも、その一因である。また、素子作製時の歩留まりも高く、大幅な低コスト化を達成できた。さらに、本光モジュールは、面発光レーザの抵抗が低く、発熱が少ないので、活性層の劣化が生じにくい。よって、従来の光モジュールと比較してより長時間に渡って安定な特性を提供することができた。

<発明の実施の形態2>発明の実施の形態例2として、本発明による再成長工程を駆使した面発光レーザ構造の作製について具体的に記述する。その素子構造は、図11に示した通りである。

【0065】本素子構造の作製にはMOCVD法を用いる。ここで、III族元素であるGa、Inの供給源として、それぞれ有機金属のトリエチルガリウム(TEG)、トリメチルインジウム(TMI)を用い、V族元素であるAsの供給源として、 AsH_3 を用いた。また、n型不純物としてシラン(SiH_4)、p型不純物として CBr_4 を用いた。Nの供給源としては、ジメチルヒドラジン(DMH₂)を使用した。

【0066】作製する半導体基板はn型GaAsの(100)面の基板(n型不純物濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)202を用いる。 AsH_3 の供給下のAs雰囲気において基板を昇温し、基板を昇温した後、基板上にn型AlAs/GaAs(n型不純物濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)による下部の半導体多層膜になる反射鏡203を30周期積層する。その膜厚は、それぞれ半導体中で1/4波長厚になるようにした。その後、1/2波長厚のノンドープGaAs層になる第1のスペーサー層204、さらに、厚さ10nmのノンドープGa_{0.7}In_{0.3}N_{0.04}As_{0.96}の井戸層、厚さ10nmのノンドープGaAs障壁層からなる多重井戸活性層205を形成した。尚、井戸層数は3とした。続いて、1/2波長厚のノンドープGaAs層第2スペーサー層206、厚さ10nmのn型

のGaInPからなる電流狭窄層207を形成した。

【0067】続いて、本願発明をわけても特徴づける構造であるAlGaAs/GaInAs/GaAsからなる変調ドーブ層211を積層した。変調ドーブ層211における低濃度ドーピング層213として厚さ5nmのノンドープGaAs層と厚さ5nmのノンドープGaInAs層の積層構造とし、高濃度ドーピング層212として厚さ5nmのp型AlGaAs層(p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)を用いた。尚、AlGaAs層におけるAlの組成は40%とした。これによって、主としてGaInAs層内に2次元の正孔ガスによるチャネルが形成される。こうした変調ドーピング構造を6回繰り返して積層した。続いて、p型GaAs第3スペーサー層208(p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)の一部を形成して、一回目の結晶成長工程を終了する。

【0068】大気中に取り出したウエハに対し、ホット工程で所望のパターンを形成し、直径φがμmのアパーチャ部形成のため、変調ドーブ層211と電流狭窄層206をエッチングにより除去した。

【0069】ここで、再びウエハを成長装置内に導入し、1/2波厚のp型GaAs第3スペーサー層208(p型ドーピング濃度 $=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)を形成した。尚、アパーチャ部における段差は100nm程度であり、それによる再成長時の悪影響は観測されなかった。最後に、ノンドープAlAs/GaAsによる上部半導体多層膜反射鏡210を25周期積層し、結晶成長工程は完了した。尚、膜厚はそれぞれ半導体中で1/4波長厚になるようにした。完成した多層成長ウエハに対し、素子構造作製のためのプロセス工程を施した。最初にSiO₂を全面に蒸着し、ホット工程にて円形状にパターニングした後、これをマスクにして、上部半導体多層膜反射鏡210の両側を、第3スペーサー層208直上までエッチングにて除去した。尚、本エッチング工程での分留りを向上させるため、上部の半導体多層膜反射鏡210と第3スペーサー層208の間に、1/4波長厚のAlGaInPからなるエッチングストップ層を導入してもよい。最後に、リング状p側の上部電極209、n側の下部電極201を形成し、素子として完成した。

【0070】このようにして作製された面発光レーザ装置は、発振波長1.3μm、閾値電流0.1mAで室温において連続発振し、素子抵抗は8Ωであった。本素子の変調特性は、30GHzにおいても良好であった。

【0071】尚、第3スペーサー層208とp側電極209間の接触抵抗を低減するために、第3スペーサー層208成長後に、CB₄による炭素(C)デルタドーピングを施すことは有効である。

【0072】本素子を用いて、図8に示す光モジュールを作製した。又、図9のごとき光システムを構成することが出来た。実施例1の場合と同様に、高性能、かつ、

長寿命であった。さらに、モジュール自体のコストも大幅に低減できた。

【0073】本実施例では、活性層としてGaInNAsを用いたもののみの例を説明したが、それのみに限定されるものではなく、各種面発光半導体レーザ装置を提供することが出来ることは言うまでもない。例えば、GaAsSbなどの材料を用いても、1.3μm帯の面発光レーザ装置を提供することが可能である。また、前述したように、低濃度ドーピング層としてAl組成の高いAlGaAsなどを用いれば、1μm以下の光に対して材料自体が透明となり、波長1μm以下の面発光レーザに応用することも可能である。また、インジウム燐(InP)基板上においても、2次元キャリアが形成できる良好な半導体材料の組み合わせがあれば、同様の効果を得ることが可能となる。それによって、高性能で、かつ、低コストな光モジュールを提供することができる。

【0074】以上、各実施例をもって示して説明したように、本願発明によれば、面発光レーザにおける素子抵抗を格段に低下させることにより、前記面発光レーザを光源として用いる高速光モジュールの高性能化、低コスト化が図れる。懸かる低抵抗な面発光レーザは、半導体基板上に、光を発生する活性層と、活性層を挟んで基板と逆側に配置された電流狭窄領域と、前記活性層と前記電流狭窄領域の上下を反射鏡で挟んだ共振器とを有し、電流狭窄領域を挟んで基板と逆側に配置された電極から前記電流狭窄領域へ流れる電流が、基板面に対して水平方向の成分を有し、前記水平方向の電流成分を、主として2次元キャリアガスのチャネルを介して伝導させる事により達成される。具体的には、電流狭窄層と上部電極の間に変調ドーブ層を導入することによって達成される。

【0075】

【発明の効果】本願発明によれば、高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置を提供することが出来る。本願発明は、例えば、10Gb/s以上の高速動作を達成が可能である。

【0076】本願発明によれば、より高速動作が可能な面発光半導体レーザ装置搭載の光モジュールを提供することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、従来に光システムの例を示す概略説明図である。

【図2】図2は、面発光レーザ装置の従来例を示す断面図である。

【図3】図3は、本願発明の面発光レーザ装置の例を示す断面図である。

【図4】図4は、本願発明の面発光レーザ装置の例を示す上面図である。

【図5】図5は、変調ドーブ層の別な形態を示す断面図である。

【図6】図6は、本願発明による変調ドーブ層の膜厚とこの横方向の抵抗値の関係を示す図である。

【図7】図7は、本願発明による変調ドーブ層の膜厚と反射鏡における反射率の関係を示す図である。

【図8】図8は、光モジュールの例を示す斜視図である。

【図9】図9は、光システムの例を示す概略説明図である。

【図10】図10は、本願発明の面発光レーザ装置の製造工程の例を示す断面図である。

【図11】図11は、本願発明の面発光レーザ装置の別な例を示す断面図である。

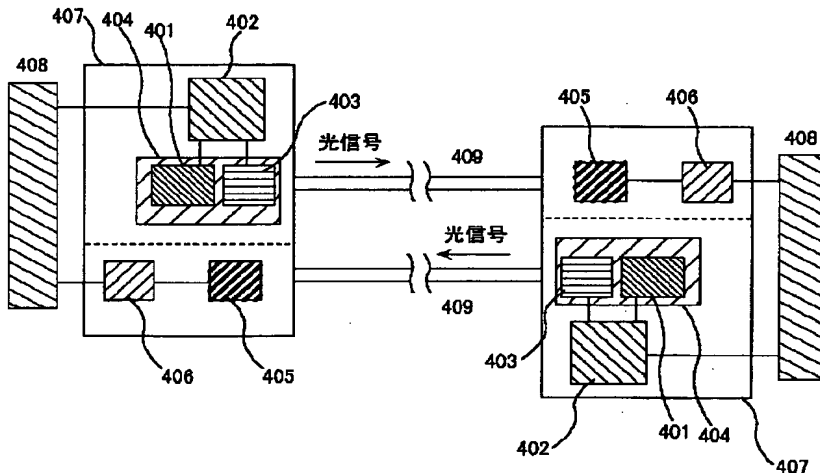
【符号の説明】

101：下部電極、102：半導体基板、103：下部の多層膜反射鏡、104：第1スペーサー層、105：活性層領域、106：第2スペーサー層、107：電流狭窄層、108：第3スペーサー層、109：上部電極、110：上部の多層膜反射鏡、111：変調ドーブ層、112：高濃度ドーピング層、113：低濃度ドーピング層、201：下部電極、202：半導体基板、203：下部の多層膜反射鏡、204：第1スペーサー層、205：活性層領域、206：第2スペーサー層、207：電流狭窄層、208：第3スペーサー層、209：上部電極、210：上部の多層膜反射鏡、211：変調ドーブ層、212：高濃度ドーピング層、213：低濃度ドーピング層、301：面発光レーザ装置、302：レーザ駆動回路、303：受光素子、304：受光素子駆動回路、305：光モジュールパッケージ全体、306：外部回路、307：光ファイバー、401：半導体レーザ、402：レーザ駆動回路、403：外部変調器、404：ヘルチ素子、405：受光素子、406：受光素子駆動回路、407：光モジュールパッケージ全体、408：外部回路、409：光ファイバー、501：下部電極、502：半導体基板、503：下部の多層膜反射鏡、504：第1スペーサー層、505：活性層領域、506：第2スペーサー層、507：電流狭窄層、508：電流導入層、509：第3スペーサー層、510：上部電極、511：上部の多層膜反射鏡。

203：下部の多層膜反射鏡、204：第1スペーサー層、205：活性層領域、206：第2スペーサー層、207：電流狭窄層、208：第3スペーサー層、209：上部電極、210：上部の多層膜反射鏡、211：変調ドーブ層、212：高濃度ドーピング層、213：低濃度ドーピング層、301：面発光レーザ装置、302：レーザ駆動回路、303：受光素子、304：受光素子駆動回路、305：光モジュールパッケージ全体、306：外部回路、307：光ファイバー、401：半導体レーザ、402：レーザ駆動回路、403：外部変調器、404：ヘルチ素子、405：受光素子、406：受光素子駆動回路、407：光モジュールパッケージ全体、408：外部回路、409：光ファイバー、501：下部電極、502：半導体基板、503：下部の多層膜反射鏡、504：第1スペーサー層、505：活性層領域、506：第2スペーサー層、507：電流狭窄層、508：電流導入層、509：第3スペーサー層、510：上部電極、511：上部の多層膜反射鏡。

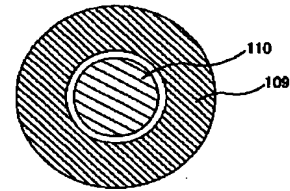
【図1】

図 1



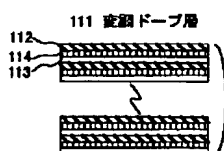
【図4】

図 4



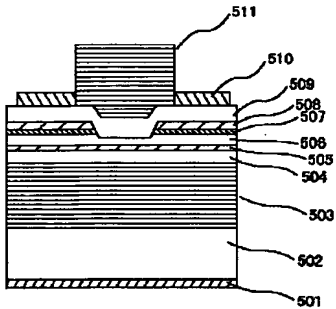
【図5】

図 5



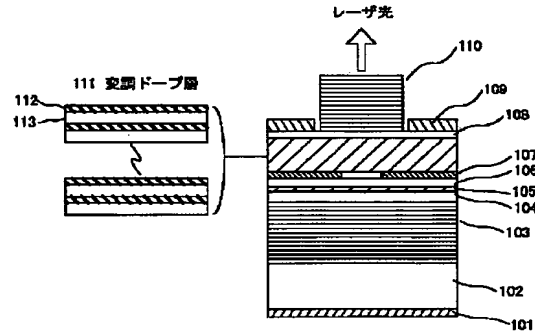
【図2】

図 2



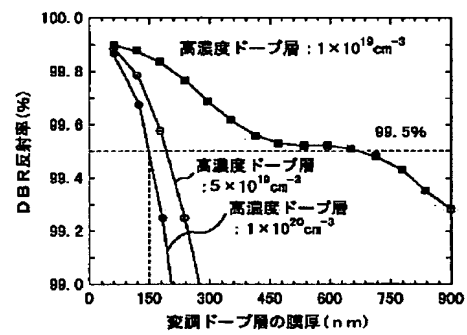
【図3】

図 3



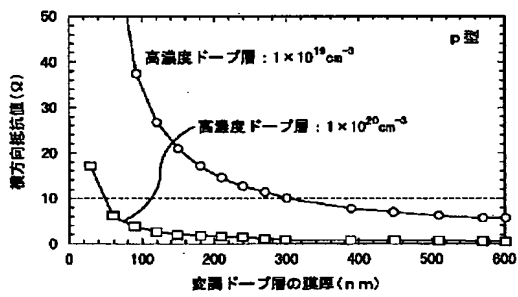
【図7】

図 7



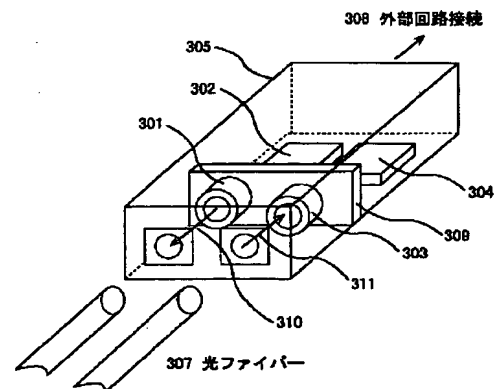
【図6】

図 6



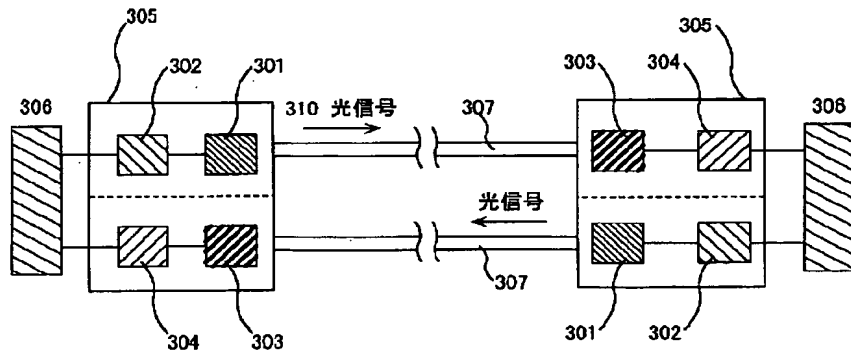
【図8】

図 8



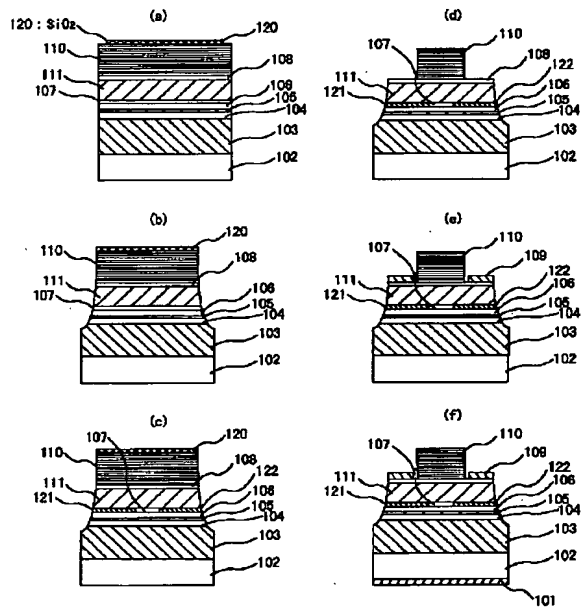
【図9】

図 9



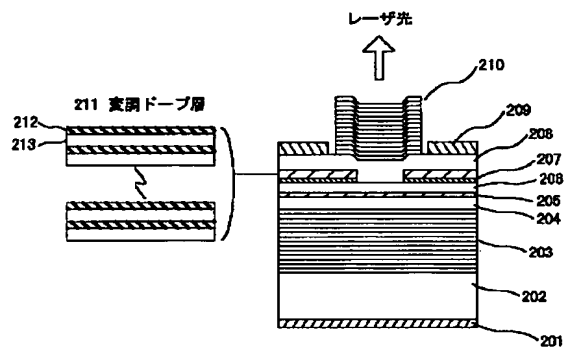
【図10】

図 10



【図11】

図 11



フロントページの続き

(72)発明者 田中 俊明
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 5F073 AB17 AB28 BA01 CA05 CB02
DA05 DA22 DA35 EA14

THIS PAGE BLANK (USPTO)